Lehrstuhl für experimentelle Zahnmedizin
(Vorstand: Prof. Dr. Siebert)
an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Würzburg
Direktor: Prof. Dr. med. dent. R. Naujoks

PH-Messungen in situ auf der Zahnoberfläche mit einer Spezialmeßelektrode nach Spülung mit verschiedenen Substraten

I N A U G U R A L - D I S S E R T A T I O N

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Hans-Dieter Hufnagel
aus Kitzingen

Würzburg, den 23. Februar 1981

Lehrstuhl für experimentelle Zahnmedizin
(Vorstand: Prof. Dr. Siebert)
an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Würzburg
Direktor: Prof. Dr. med. dent. R. Naujoks

PH-Messungen in situ auf der Zahnoberfläche mit einer Spezialmeßelektrode nach Spülung mit verschiedenen Substraten

I N A U G U R A L - D I S S E R T A T I O N

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Hans-Dieter Hufnagel
aus Kitzingen

Würzburg, den 23. Februar 1981

Referent: Prof. Dr. F. Gehring

Korreferent: Prof. Dr. R. Naujoks

Dekan: Prof. Dr. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Juni 1981

UNIV. LEIDEN BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

Meiner lieben Frau Anni

und unseren beiden Töchtern

Katja und Kristina

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543527_0070

I N H A L T S Ü B E R S I C H T

		Seite
I.	Einleitung	2
	1. Problematik der extra- und intraoralen pH-Wertbestimmung	
II.	Material	6
	A. Substanzen	6
	B. Probanden	6
	C. Elektroden	7
	1. Für die intraorale pH-Messung	
	2. Für die extraorale pH-Messung	
III.	Methode	8
	A. Standardisierung	8
IV.	Ergebnisse	12
	1. intraoral gemessene Ergebnisse und deren Interpretation	
	2. extraoral gemessene Ergebnisse und deren Interpretation vergleichend mit intraoraler Methode	
V.	Diskussion	48
VI.	Tabellenanhang	53
VII.	Zusammenfassung	65
VIII.	Literaturverzeichnis	74

I. Einleitung

In der Kariesätiologie nimmt die Säureproduktion durch die Bakterien der Mundhöhlenflora eine zentrale Stellung ein. So war es auch nicht verwunderlich, daß schon frühzeitig Anstrengungen unternommen wurden, Methoden zur Bestimmung des pH-Wertes und damit natürlich der Säurestärke zu entwickeln. Dies gilt vor allen Dingen für Substanzen, von denen man weiß, daß sie als ein Intermediärprodukt im Bakterienstoffwechsel eine organische Säure erzeugen, die dann zu Entkalkungsvorgängen an der Schmelzoberfläche führt. Dabei ist vor allem die Milchsäure, wie sie beim anaeroben Glucoseabbau entsteht, am gefährlichsten; weit weniger sind es die Ameisen-, die Essig- und die Propionsäure.

So wurden zahlreiche Meßmethoden entwickelt, die sich zwar grundsätzlich voneinander unterscheiden, denen aber gemeinsam ist, daß sie jeweils über die Plaque die Wasserstoffionenkonzentration messen, welche auf die Zahnhartsubstanzen einwirken kann.

Eine Methode, die intraorale pH-Messung der Plaque, ist schon seit langem bekannt. Die ersten Messungen dieser Art wurden mit einer Antimonelektrode schon im Jahre 1940 von Stephan [5] durchgeführt und in den folgenden Jahren mehrfach modifiziert, vor allem durch Kleinberg [6] und Neff [7].

Sie verwendeten eine, mit pulverisiertem Antimon eingeschmolzene Elektrode und eine KCl- bzw. Kalomelbezugselektrode.

Kleinberg [6] erreichte damit brauchbare Ergebnisse, jedoch wurde von Brudevold und Thompson [8] festgestellt, daß beim Vergleich der Antimon-Elektrode mit einer Glaselektrode unter konstanten Versuchsbedingungen die Antimonelektrode bis zu einer pH-Einheit höhere Werte anzeigt. Diese Unstimmigkeit erklärt sich daraus, daß Antimonelektroden auch auf Redoxpotentiale reagieren, die in der Plaque eine große Rolle spielen [9].

Daneben ist die manuelle Unhandlichkeit dieser Elektroden von Nachteil. Deshalb fixierte auch Neff 1967 [7] die Antimonelektrode, die Bezugselektrode und die KCl-Elektrolytbrücke über Kunststoffaufbißschienen im Mund der Probanden und erhielt damit konstantere pH-Werte.

Da Neff [7] erst die Elektrode in die Plaque steckt, anschließend fixiert und dann die zu prüfenden Substanzen auf die unmittelbare Umgebung der Elektroden aufbringt, ist das Diffusionsverhalten innerhalb der Plaque natürlich gestört. Die Lösungen gelangen somit auf kapillarem Weg, nicht durch Diffusion in die tieferen anaeroben Schichten des Belages.

Ein sehr viel aufwendigeres Verfahren entwickelten Graf und Mühlemann 1966 [10, 11, 12] mit ihrer Radiotelemetrie. Sie verwendeten eine miniaturisierte Glaselektrode, welche mittels einer partiellen Prothese fest in der Mundhöhle der Probanden adaptiert ist und auf deren Oberfläche sich die Plaque dann bilden kann. Nach Zufuhr von beispielsweise kariogenen Substanzen ist die Wasserstoffionenaktivität kontinuierlich meßbar. Unbestrittene Vorteile der Telemetrie sind:

- ein ungestörtes Diffusionsverhalten der zu prüfenden Substanzen, da die Plaque in ihrem Aufbau nicht zerstört wird

- ein sehr physiologisches Verfahren, da über die gesamte Meßdauer neutralisierender Speichel hinzutreten kann.

- Die Nahrung kann wie gewohnt aufgenommen und gekaut werden.

- Eine kontinuierliche Verfolgung der Meßdaten über einen beliebig langen Zeitraum ist möglich.

Nachteilig an der Methode der Radiotelemetrie ist aber in erster Linie der sehr hohe apparative Aufwand und die Tatsache, daß die Bakterien nicht auf einer natürlichen Schmelz-

oberfläche wachsen können, sondern eben auf der glatten Glasoberfläche der Elektrode.

Eine andere Möglichkeit besteht in der extraoralen pH-Wertbestimmung von Englander et al. (1956) [13], die auf einer Methode, beschrieben von Fosdick et al. (1941) [14] beruht, eine ausreichende Reproduzierbarkeit besitzt [15, 16, 17, 18] und einfach zu handhaben ist. Dabei werden den Probanden nach dem Genuß zuckerhaltiger Substanzen jeweils gleiche Plaquemengen entnommen, diese im destillierten Wasser suspendiert und der pH-Wert mit Einstabglaselektroden gemessen. Vorteilhaft an dieser Methode ist zweifelsohne die leichte präparative Handhabung und die Tatsache, daß die natürlichen Diffusionsverhältnisse während der Einwirkungszeit der Kohlenhydrate nicht gestört sind [19].

Sehr nachteilig wirkt sich aber die leichte Unterschätzbarkeit des Säuregrades aus. Da die Plaque aus ihrer natürlichen Umgebung entfernt wird und durch die Suspendierung ein gewisser Verdünnungseffekt der Wasserstoffionenkonzentration auftritt, ist das kariogene Potential einer zu untersuchenden Substanz nicht mehr genau zu beurteilen.

In dieser Arbeit soll nun eine Methode vorgestellt werden, bei der mittels einer modifizierten Oberflächenglaselektrode und einer separaten Bezugselektrode der pH-Wert der dentalen Plaque intraoral an jeder beliebigen Stelle des Zahnes bestimmt werden kann.

Gleichzeitig wird in einem Teil der Arbeit mit denselben Probanden und denselben Substanzen ein Vergleich mit der extraoralen Bestimmungsmethode angestellt.

Getestet wurden gängige Zucker und Zuckeraustauschstoffe. Um einen Vergleich aller Substanzen untereinander zu ermöglichen, wurde der gemessene pH-Wert gegen die Zeit aufgetragen, womit die für jede Substanz charakteristische Stephankurve zu

ermitteln war. Aus ihr wiederum läßt sich ableiten, daß je nach minimalem pH-Wert und dessen Dauer eine Aussage über die Kariogenität jeder Substanz möglich ist [15, 16, 20, 21, 22, 23, 10, 24].

Dazu läßt sich allgemein sagen, daß der erzeugte pH-Wert natürlich von verschiedenen Faktoren abhängig ist:

- vom Alter bzw. der Dicke der Plaque, denn dünne Schichten enthalten quantitativ weniger Bakterien als dicke voluminöse und bilden damit auch weniger Säure.

- Von der Permeabilität der Substanzen durch die Plaqueschichten, die wiederum von der Schichtdicke der Plaque und der molekularen Struktur der Substanzen abhängig ist [7, 25] .

- Vom Puffersystem der Plaque und des Speichels. In dünneren Plaqueschichten erfolgt naturgemäß eine schnellere Neutralisation.

- Von der Verweildauer der Substanzen im Mund.

- Von der mikrobiellen Fermentierbarkeit der Substanzen.

II. Material

A. Substanzen:

In den Versuchen wurden neun Substanzen getestet:

1. Das Disaccharid Saccharose.

2. Die Monosaccharide α-D-Glucose, ß-D-Fructose und L-Sorbose.

3. Fünf Zuckeraustauschstoffe verschiedenen chemischen Charakters.

   a) Der Hexosealkohol Sorbit, bei dem im Vergleich zur Ketose L-Sorbose die Ketofunktion am C-Atom 5 zu einer OH-Gruppe reduziert ist,

   b) der Pentosealkohol Xylit, der durch Reduktion von Xylose abgeleitet ist,

   c) der Hexosealkohol Mannit, abgeleitet von der Mannose,

   d) Palatinit ®, einem 1 : 1 Gemisch von Glucopyranosido-1,6 - mannit und Glucopyranosido - 1,6 - sorbit,

   e) das Stärkehydrolysat Lycasin ®, einem Sorbit-Glucose-Disaccharid, bestehend aus 28,8 % Sorbit und 64,3 % hydrierten Dextrinen.

Von allen neun Substanzen wurde eine 20 %-ige Lösung mit destilliertem Wasser hergestellt und die Probanden angewiesen, diese zwei Minuten im Munde zu spülen.

B. Probanden:

Als Probanden wurden sechs Personen im Alter von 19 bis 31 Jahren gewählt. Sie enthielten sich 24 Stunden jeglicher Mundhygiene. Nur Spülungen mit klarem Wasser zur Entfernung grober Nahrungsreste waren erlaubt. Jedoch sollte an den

täglichen Eßgewohnheiten bezüglich der Nahrungszusammensetzung etc. nichts geändert werden. Alle sechs Probanden verfügten über ein konservierend bzw. prothetisch versorgtes vollständiges Gebiß. Bis auf die Probandin A.F., die über einen außergewöhnlich starken Speichelfluß verfügt, kann die Speichelmenge aller anderen Probanden als normal (0,4 ml/min) bezeichnet werden.

Ebenso ist die Bildung der Plaquemenge bei allen Versuchspersonen als gut zu werten, lediglich bei der Probandin B.B. war die Plaquebildung innerhalb von 24 Stunden um 30 - 40 % geringer als bei den anderen Versuchspersonen. Dies mag einerseits mit der Ernährung, andererseits mit den sehr glatten Zahnoberflächen zusammenhängen.

C. Elektroden:

1. Zur intraoralen pH-Wertmessung der dentalen Plaque wurde eine modifizierte Oberflächenglaselektrode der Firma Ingold KG verwendet. Das im Durchmesser nur 2 mm betragende LOT-Membranglas erlaubt eine gute flächenhafte Auflage auf alle vestibulären und lingualen bzw. palatinalen Zahnflächen. Durch die 90°-Abknickung im Glasschaft ist eine gute Zugänglichkeit an alle Stellen der Mundhöhle möglich.

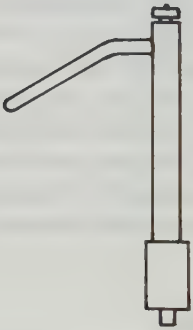
   Als Bezugselektrode wurde eine Mikroglaselektrode der Firma Ingold KG verwendet,die speziell zum Einhängen in die Mundhöhle konstruiert ist. Der Bezugselektrolyt ist eine 1 molare NaCl-Lösung und als Diaphragma ist ein Keramikstift eingearbeitet.

   Eine spezielle Elektrolytbrücke ist nicht nötig, da die Mundhöhlenflüssigkeit als Brücke wirken kann.

   Als pH-Meter diente das Digitalgerät pH Digi 550 der Firma WTW GmbH, das einen netzfreien Betrieb erlaubt, damit die Probanden in keiner Weise gefährdet werden.

2. Zur extraoralen Messung des pH-Wertes wurde eine Einstabmeßkette der Fa. Ingold KG für Messungen auf Oberflächen mit einer Flachmembran aus LOT-Glas und einem AgCl-Bezugssystem verwendet.

modifizierte Oberflächenglaselektrode



Bezugselektrode

Einstabmeßkette

Methode

A. Standardisierung:

Sowohl bei der intraoralen als auch der extraoralen Meßmethode wurden die Versuchsbedingungen in folgender Weise standardisiert:

1. 24 Stunden keine Mundhygiene.
   Die daraus resultierende Menge des Belages hat sich als meßtechnisch günstiger erwiesen, als eine 48 Stunden oder 72 Stunden alte Plaque. Bei größerer Belagdicke ist es nicht möglich, die Meßelektrode manuell an einem Punkt und in nur eine Höhe bezüglich der Schichtdicke der Plaque zu halten. Somit wird die Oberfläche des Belages zerstört und die Bakterien befinden sich nicht mehr im optimalen Milieu. Viel günstiger sind geringe Plaqueschichten, da die Meßelektrode nur an einer Stelle punktförmig aufliegt, an den anderen Stellen der Membranoberfläche aber keine zu große Zerstörung eintritt.

2. Die letzte Nahrungsaufnahme vor Versuchsbeginn lag in allen Fällen mindestens drei Stunden zurück.

3. Um den pH-O-Wert, der ein Ergebnis mikrobieller Säurebildung und Neutralisation durch den $HCO_3^{\ominus}/CO_2H_2O$ Puffer des Speichels ist, jeder Meßreihe exakter bestimmen zu können, wurde den Probanden ein Paraffinstück (Erstarrungspunkt 42 - 44° C) fünf Minuten zum Kauen gegeben. Da durch die damit verbundene erhöhte Speichelsekretion die Oberfläche der Plaque regelmäßig einen pH-Wert von sieben und zum Teil über sieben aufwies, wurde noch eine Minute gewartet, bis sich der Speichelfluß wieder normalisiert hatte. Damit konnte ein relativ physiologischer pH-O-Wert gemessen werden, der sich auch bei einigen Probanden in charakteristischer Weise unterscheidet. Eine H_2O-Spülung statt Paraffinkauen hat sich als ungünstig erwiesen, da mit dem Wasser statt einer Neutralisation die Säure nur gesammelt und überall in die Mundhöhle hineingebracht wird. Gleichzeitig wurde an je drei Stellen

der Mundschleimhaut eine Messung des Speichelfilmes durchgeführt:

a) in der verstibulären Umschlagfalte der Uk-Schleimhaut

b) an den Carunculae sublinguales nach Massieren der Glandula submandibularis

c) an der buccalen Schleimhaut des Parotisausführungsganges,
wobei der pH-Wert an den Meßpunkten a) und c) oft nur wenig höher war als in der Plaque, weil die "freien" Bakterien der Mundflora ebenfalls Zucker vergären können und eine gewisse Säureabgabe an die Schleimhaut über den Kontakt mit Plaque erfolgt. Zur Kontrolle des pH-O-Wertes wurde in allen Fällen noch an der mesialen Vestibulärfläche des oberen zweiten Molaren gemessen und wenn nötig aus beiden Werten der Mittelwert gebildet.

4. Zwischen den einzelnen Messungen wurden die Probanden gebeten, den Mund zu schließen und sich ganz normal zu verhalten, damit keine Austrocknung der Belagoberfläche zu befürchten war und der neutralisierende Speichel unter möglichst physiologischen Bedingungen einwirken konnte.

5. Als günstigste Meßpunkte haben sich die mesialen Vestibulärflächen der Zähne erwiesen, da von diesen Stellen die sehr wichtige Abstützungsmöglichkeit mit Hilfe des mesialen Nachbarzahnes gegeben ist.

6. Die Bezugselektrode wurde während der Messung so in die Umschlagfalte eingelegt, daß die Diaphragmamembran flächig auf der Mundschleimhaut auflag.

7. Für die extraorale Bestimmung des pH-Wertes galten analoge Versuchsbedingungen. Für jede Messung, ein-

schließlich der des pH-0-Wertes, wurde mit einem Lingualscaler pro Quadrant von den Zähnen 8 - 4 und 4 - 1 je zweimal jeglicher sichtbare Belag entnommen und dieser mit einem kleinen Einmalmörser in einem speziellen Objektträger in 0,04 ml H_2O dest. emulgiert.

8. Nach Bestimmung des pH-0-Wertes wurde den Versuchspersonen 20 ml der Substanz, in H_2O dest. gelöst, verabreicht, diese zwei Minuten unter dauerndem Hin- und Herbewegen im Munde belassen und danach ausgegeben. Vor der ersten Messung wurde dann noch eine Minute gewartet, damit die produzierte Säure durch die erhöhten Flüssigkeitsmengen im Munde nicht immer wieder abgewaschen wurde.

9. Der pH-Wert des Belages wurde bei der intraoralen Methode 3,4, 5, 7, 9, 11, 13, 17, 21, 27 und 32 Minuten nach Applikation der Lösung beobachtet, bei der extraoralen Messung nach 3, 5, 7, 9, 11, 15 und 25 Minuten gemessen.

   Da die Elektroden für die intraorale Meßmethode eine im Vergleich zur Einstabmeßkette höhere Einstellträgheit aufweisen, wurden Meß- und Bezugselektroden 15 Sekunden vor dem Zeitwert in die Mundhöhle gebracht. So konnte dann der pH-Wert exakt zu den oben angegebenen Zeitpunkten abgelesen werden.

10. Nach jeder abgeschlossenen Meßreihe wurden die Elektroden mit Pufferstandardlösungen von pH-4 und pH-7 neu geeicht.

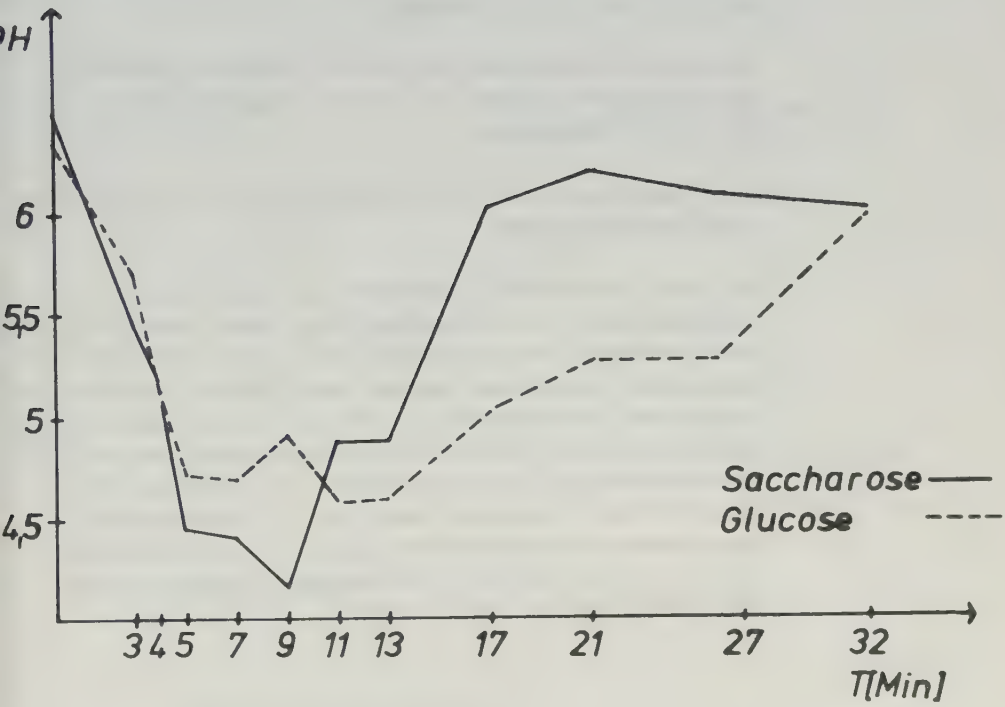
11. Bei der extraoralen Methode wurde der Belag zum angegebenen Zeitpunkt möglichst schnell von den Zahnoberflächen entfernt und weiter verarbeitet.

    Von dem Moment der Plaqueentnahme bis zur Messung vergingen in der Regel 20 - 40 Sekunden. Diese Zeitdifferenz

ist aber unerheblich, da eigentlich nur die Säuremenge bestimmt werden soll, die unter physiologischen Bedingungen auf der Zahnoberfläche produziert wurde.

Ergebnisse:

Fig. 1 a zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Saccharose und Glucose bei der Probandin A.F.



Interpretation der Kurven:

- Das pH-Minimum für Saccharose liegt bei t = 9 Minuten und hat einen Wert von pH = 4,16.

- Eine absolut sichere kariogene Wirkung besteht in der Zeit t = 3 - 9 Minuten, wenn man davon ausgeht, daß eine Schmelzentkalkung von den pH-Werten 5,3 - 5,4 nach Mühlemann [11] und 5,4 nach Ahrens [11] und tiefer eintritt.

- Die Kurve steigt in der Zeit von t = 13 - 21 Minuten stark an, fällt von t = 21 - 32 Minuten etwas ab, ohne den Ausgangswert wieder zu erreichen.

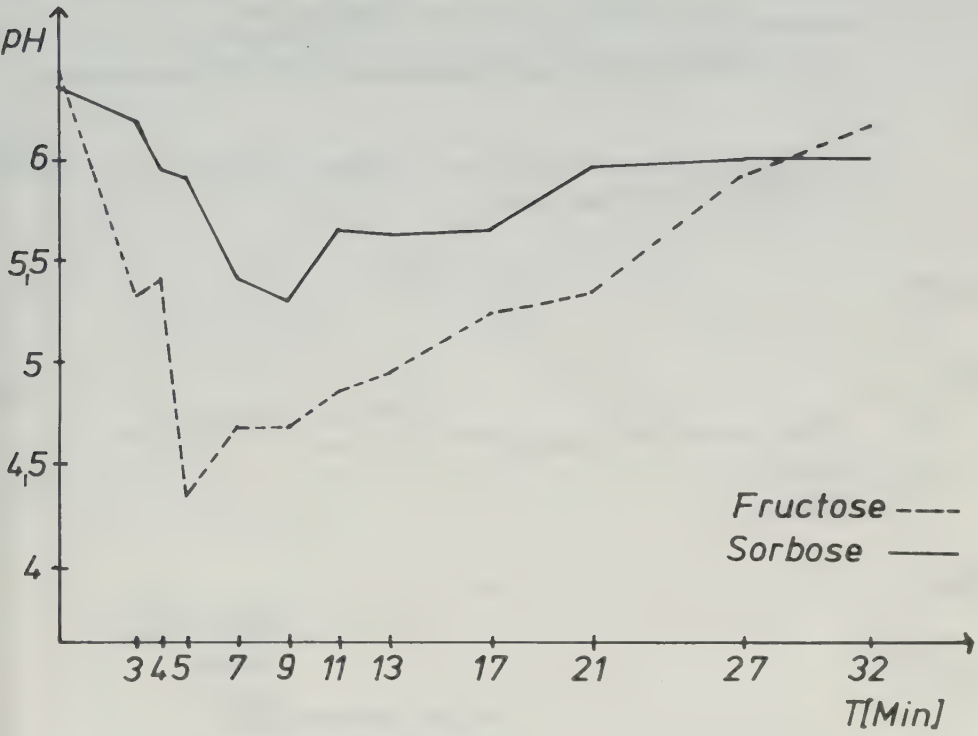
- Bei der Stephankurve für Glucose fällt der pH-Wert insgesamt nicht so stark ab; sein tiefster Wert liegt bei 4,57 z.Zt. t = 11 Minuten.

- Wenn man als kritischen Wert pH = 5,4 annimt, so bleibt die entkalkende Wirkung von Glucose länger erhalten als die der Saccharose.

- Der Ausgangswert wird nach 32 Minuten auch von der Glucose nicht wieder erreicht.

- Der etwas unregelmäßige Kurvenverlauf, der auch im folgenden noch oft zu beobachten ist, hängt ursächlich damit zusammen, daß die Belagmengen an den Meßpunkten nie einheitlich sein können. Daraus resultiert ein unterschiedlich tiefes Eintauchen der Elektrode in die Plaque. Da aber der pH-Wert wegen der Diffusionsfaktoren und der unterschiedlichen Fermentierbarkeit der Substanzen verschiedene Werte aufweisen kann [26, 27], sind kleine Abweichungen durchaus ohne Belang auf den gesamten Verlauf der Kurve. Kleinere "pH-Bewegungen" hängen mit dem Wascheffekt des Speichels zusammen.

Fig. 1 b zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose bei der Probandin A.F.



Interpretation der Kurven:

- Der minimale pH-Wert für Fructose liegt bei 4,36 z.Zt. t = 5 Minuten; er wird schneller erreicht als bei Glucose und Saccharose.

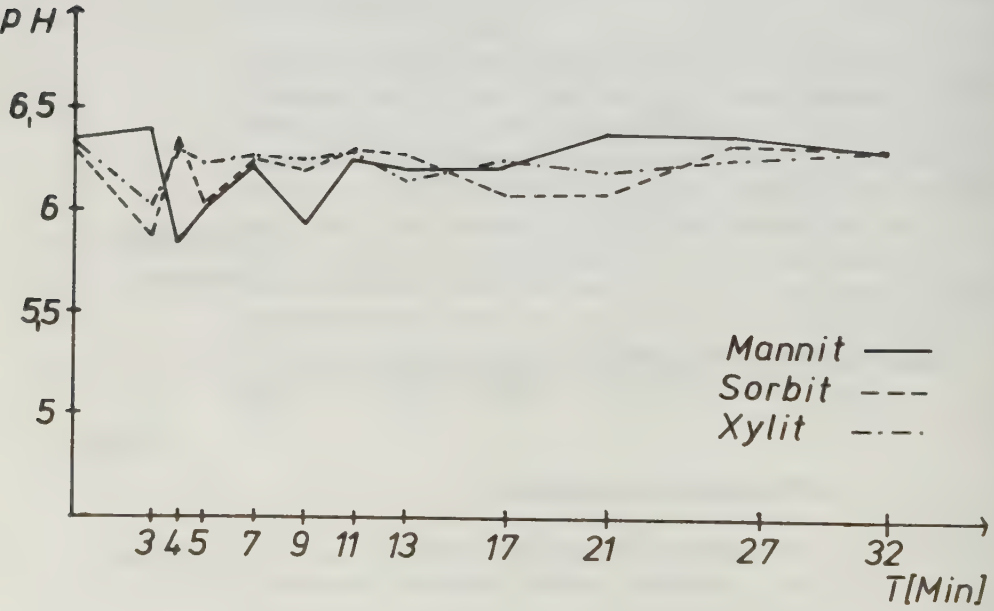
- Die entkalkende Wirkung besteht von t = 3 Minuten bis 21 Minuten.

- Ein Anstieg auf den Ausgangswert erfolgt nicht in der gemessenen Zeit.

- Für Sorbose ergibt sich ein pH-Minimum von 5,30 bei t = 9 Minuten, wobei lediglich dieser Minimalwert unter dem kritischen Bereich von pH = 5,4 liegt. Das bedeutet, daß die Sorbose bei weitem nicht den kariogenen Charakter wie Saccharose, Glucose und Fructose hat.

- Ein Anstieg auf den Ausgangswert ist nicht zu beobachten.

Fig. 1 c zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Xylit, Sorbit und Mannit.



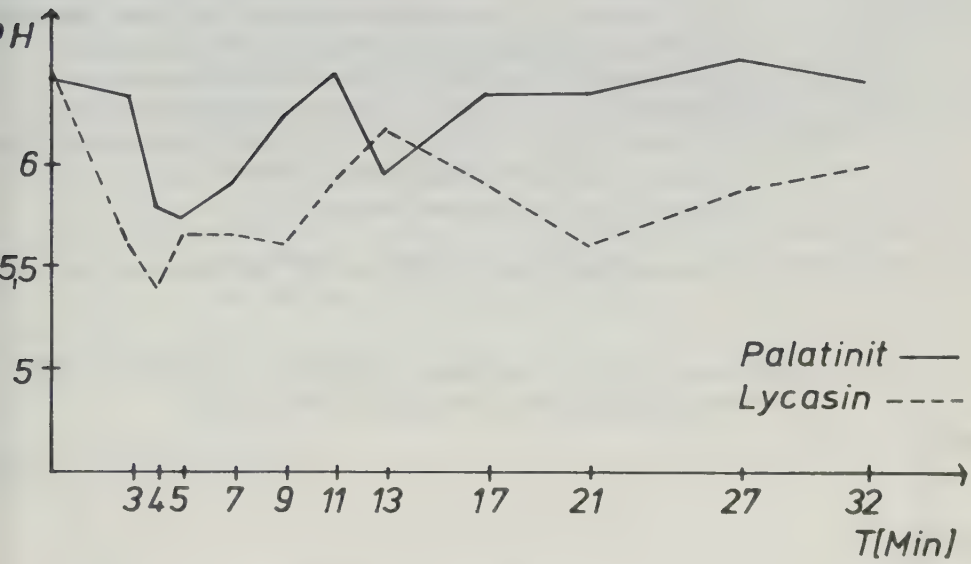
Interpretation der Kurven:

- Alle drei Polyalkohole Sorbit, Xylit und Mannit weisen pH-Minima über 5,4 auf und können jedenfalls bei dieser Probandin nicht als kariogen gelten.

- Den tiefsten pH-Wert weist Mannit mit 5,83 auf.

- Bei allen drei Zuckeraustauschstoffen sind die Minima in der Zeit von 3 - 9 Minuten zu beobachten.

Fig. 1 d zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Palatinit ® und Lycasin ® bei der Probandin A.F.



Interpretation der Kurven:

- Auch Palatinit ® verhält sich im großen und ganzen ähnlich wie die Polyalkohole, jedoch ist der Abfall bei t = 5 Minuten bis pH = 5,77 schon etwas ausgeprägter.

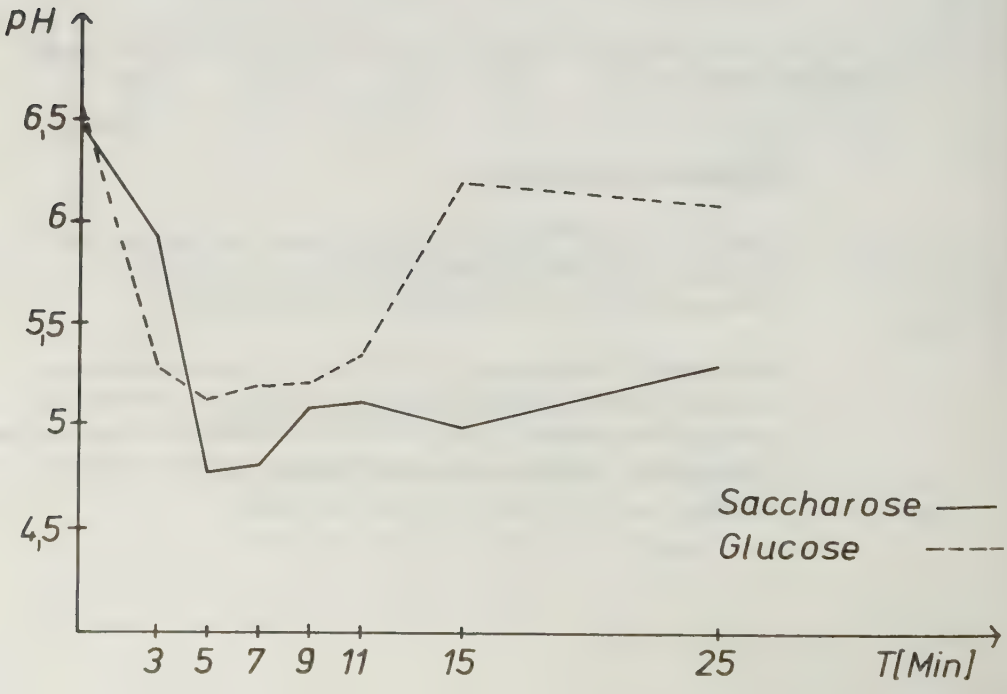
- Der schnelle Anstieg auf 6,48 bei t = 11 Minuten und der erneute Abfall auf 5,92 bei t = 13 Minuten ist vermutlich meßtechnisch bedingt. Möglich wäre aber auch ein sogenannter "Säureschub" aufgrund unterschiedlicher Bakterienaktivitäten.

- Palatinit ® hat bei t = 27 Minuten den Ausgangswert sogar überschritten, z.Zt. t = 32 Minuten minimal unterschritten.

- Das Stärkehydrolysat Lycasin ® zeigt einen ähnlichen Kurvenverlauf wie Palatinit ® mit einem pH-Minimum von 5,40 bei t = 4 Minuten, einen Anstieg auf pH = 6, 19 bei t = 13 Minuten und einen erneuten Abfall auf pH = 5,62 bei t = 21 Minuten. Als Erklärung dafür kann man unter Umständen ein Abbauzwischenprodukt annehmen, mit dem eine erneute Säureproduktion möglich ist. Infrage kämen hierbei evtl. die Dextrine, die aufgrund ihrer Molekulgröße ein anderes Diffusionsverhalten zeigen wie das Sorbit-Glucose-Disaccharid und deren 50 %-ige Lösungen einen extraoral gemessenen pH-Abfall bis 5,0 erzeugen können [28].

- Der Ausgangswert wird von Lycasin ® nicht wieder erreicht.

Fig. 1 e zeigt die extraoral ermittelten Stephankurven für Glucose und Saccharose bei der Probandin A.F.



Interpretation der Kurven und ein Vergleich mit den Ergebnissen der intraoralen Methode:

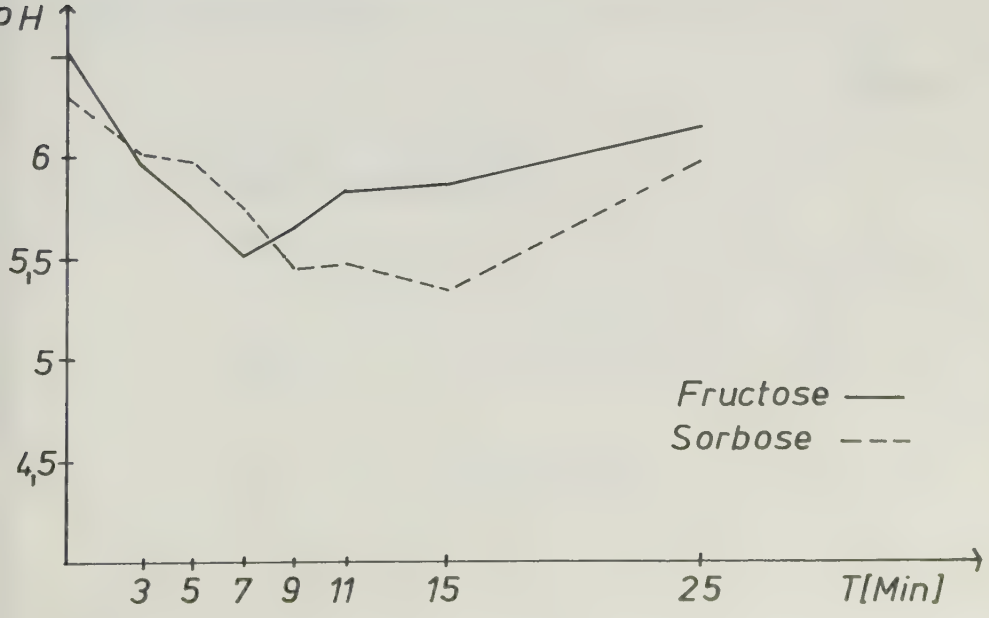
- Der pH-O-Wert ist nur unwesentlich von dem der intraoralen Messungen verschieden.

- Der pH-Abfall für Saccharose mit pH = 4,76 und Glucose mit 5,12 ist nicht so ausgeprägt, wie bei der intraoralen Meßmethode.

- Sehr offensichtlich ist aber die zeitliche Verschiebung der pH-Minima gegenüber der intraoralen Methode, die für Saccharose um 4 Minuten, für Glucose um 6 Minuten früher ist, was mit der meßtechnisch bedingten starken Zerstörung der Plaque erklärt werden kann [12].

- Auffällig ist auch, daß die pH-Werte für Saccharose bei der extraoralen Meßmethode länger (bis t = 25 Minuten) unter dem kritischen Wert von 5,4 verbleiben.

Fig. 1 f zeigt die extraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose bei der Probandin A.F.



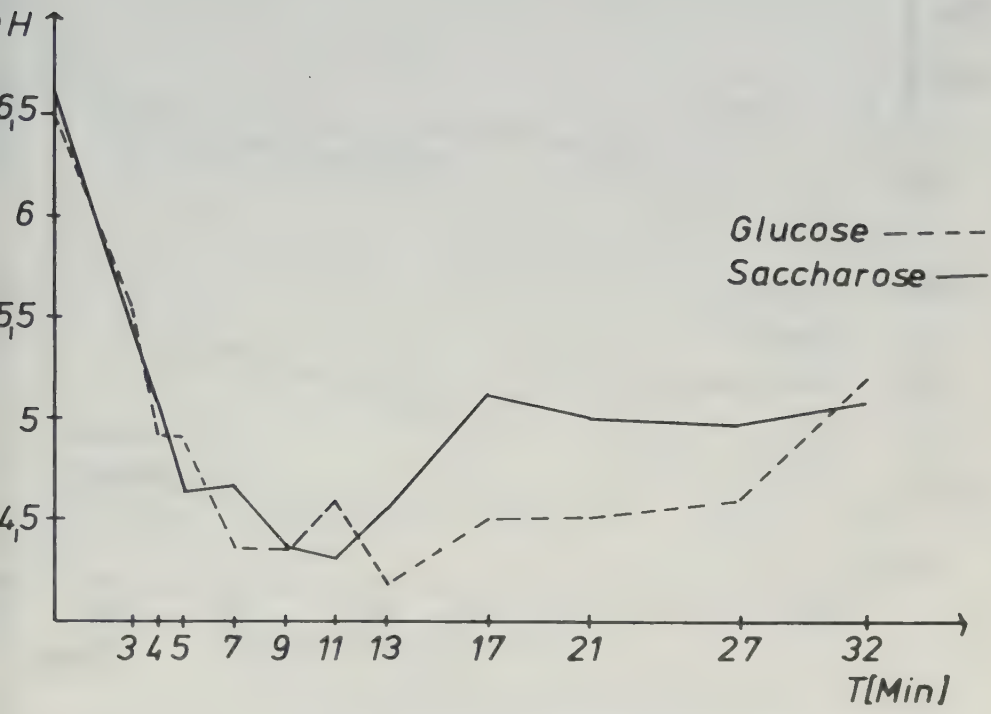
Interpretation der Kurven und ein Vergleich mit den Ergebnissen der intraoralen Methode:

- Das pH-Minimum für Fructose wird z.Zt. t = 7 Minuten erreicht und liegt mit pH = 5,52 um mehr als eine pH-Einheit höher als der minimale pH-Wert der intraoralen Methode. Ferner ist eine zeitliche Verschiebung von 2 Minuten zu beobachten.

- Bei der Sorbose zeigt sich ein Kurvenverlauf mit einem pH-Minimum von 5,34 bei t = 15 Minuten, wobei dieser Wert annähernd den der intraoralen Methode erreicht, zeitlich aber um 6 Minuten verschoben ist.

- Der Ausgangswert wird auch bei der extraoralen Meßmethode nicht wieder erreicht.

Fig. 2 a zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Glucose und Saccharose beim Probanden J.F.

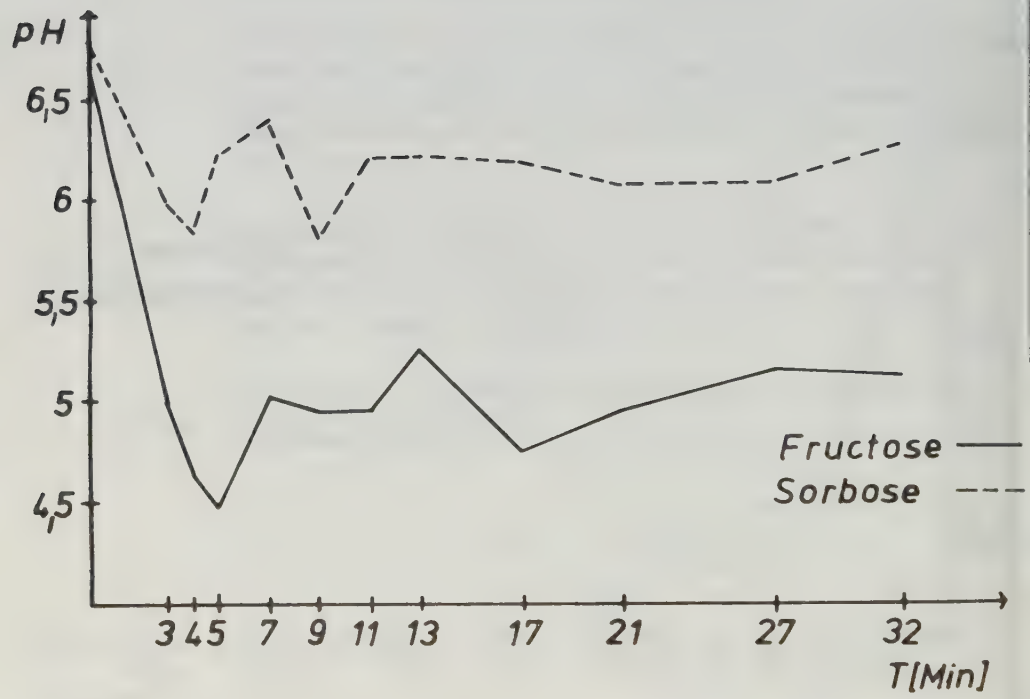


Interpretation der Kurven:

- Das pH-Minimum für Saccharose liegt bei t = 11 Minuten mit pH = 4,32 und für Glucose z.Zt. t = 13 Minuten mit pH = 4,20. Bei diesem Probanden erzeugt Glucose den stärksten pH-Abfall, obwohl bezüglich des minimalen pH-Wertes nur geringe Unterschiede zwischen beiden Substanzen bestehen.

- Glucose und Fructose verbleiben in der angegebenen Meßdauer von 32 Minuten unter dem kritischen pH-Wert von 5,4.

Fig. 2 b zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose beim Probanden J.F.



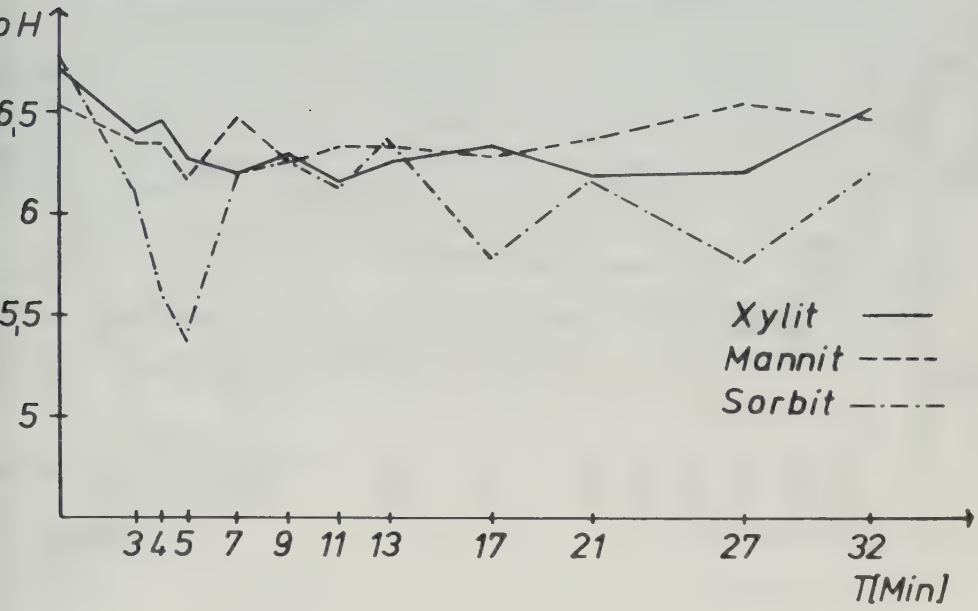
Interpretation der Kurven:

- Die Stephankurve für Fructose zeigt den charakterischen Verlauf mit einem pH-Minimum von 4,47 z. Zt. t = 5 Minuten.

- Ob der deutliche Kurvenabfall zwischen 13 und 17 Minuten meßtechnisch bedingt ist oder ob es sich hierbei um einen schon diskutierten erneuten "Säureschub" handelt, kann nicht mit Sicherheit geklärt werden. Da der Abfall aber 0,5 pH-Einheiten beträgt, wird wohl der letztere Grund plausibel sein.

- Die Kurve für Sorbose bleibt während ihres gesamten Verlaufes über dem kritischen pH-Wert von 5,4 und erreicht ihren tiefsten Wert von 5,81 z. Zt. t = 9 Minuten.

Fig. 2 c zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Xylit, Sorbit und Mannit beim Probanden J.F.



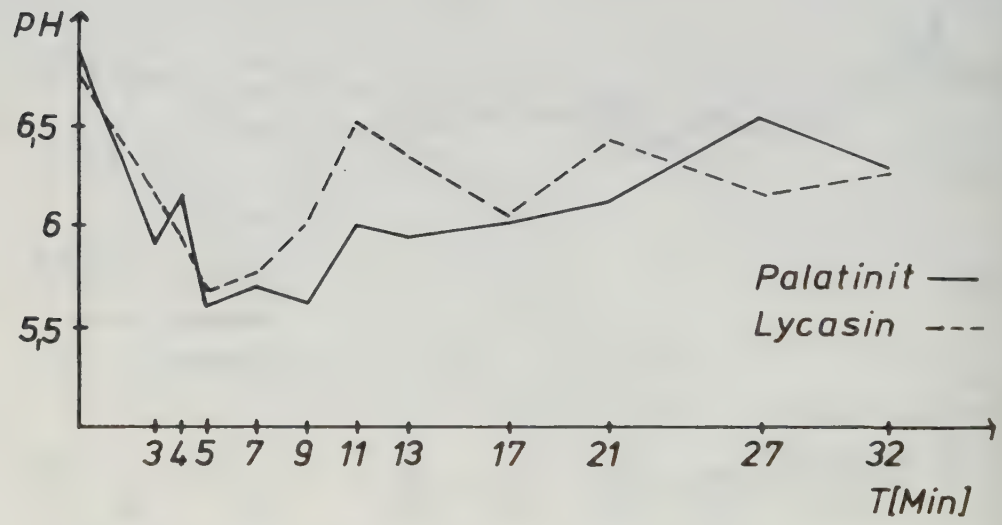
Interpretation der Kurven:

- Bei den Zuckeraustauschstoffen Xylit und Mannit sind in den Stephankurven keine bemerkenswerten Unterschiede festzustellen. Die pH-Minima liegen über 6 und sind somit relativ weit vom kritischen pH-Wert entfernt.

- Sorbit dagegen zeigt beim Probanden J.F. ein pH-Minimum von 5,37 bei t = 5 Minuten. Vergleichend mit der Probandin A.F. kann hier die Sorbit-Dehydrogenase im Speichel vorhanden sein, die aus Sorbit und $NAD^{\oplus}$ D-Fructose aufbaut [29]. Der deutlich unregelmäßige Kurvenverlauf nach t = 13 Minuten hat vermutlich dieselben Ursachen wie bei der Fructose (vgl. Fig. 2 b).

- Z.Zt. t = 32 Minuten liegen die pH-Werte von Xylit und Mannit nur noch wenig unter dem Ausgangswert, wogegen Sorbit doch einen relativ tieferen pH-Wert von 6,22 aufweist.

Fig. 2 d zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Palatinit ® und Lycasin ® beim Probanden J.F.



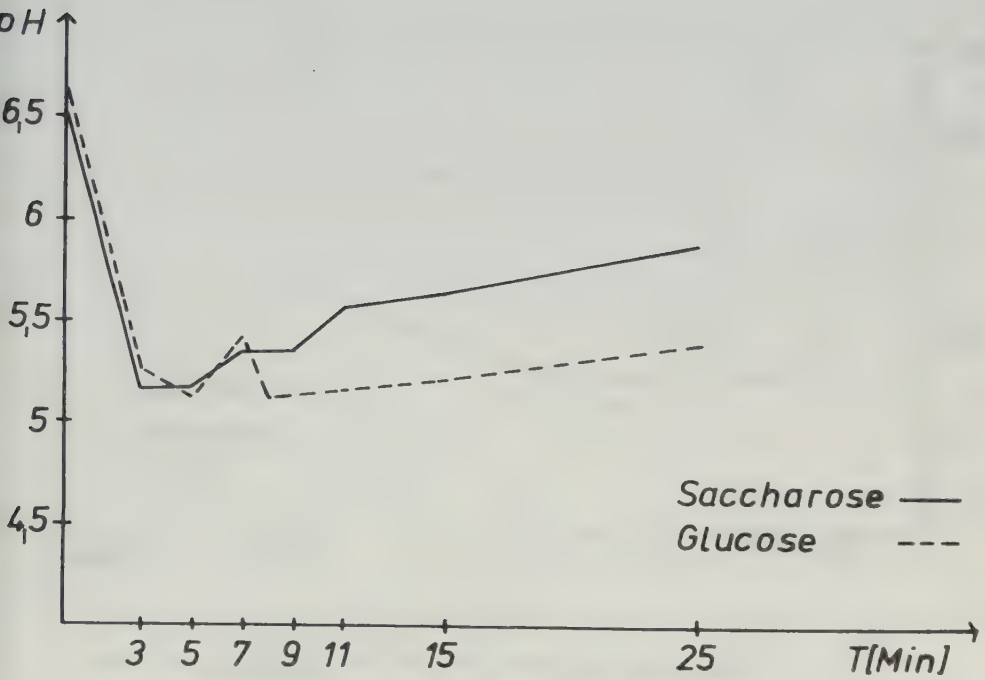
Interpretation der Kurven:

- Bei den Substanzen Palatinit ® und Lycasin ® liegen die pH-Minima über dem kritischen pH-Wert von 5,4.

- Lycasin ® zeigt ab t = 11 Minuten einen sehr unregelmäßigen Kurvenverlauf. Vermutlich kommen auch hier wieder meßtechnische Gründe und schon diskutierte "Säureschübe" zur Geltung.

- Beide Substanzen erreichen den Ausgangswert nicht wieder.

Fig. 2 e zeigt die extraoral ermittelten Stephankurven für Glucose und Saccharose beim Probanden J.F.



Interpretation der Kurven und ein Vergleich mit den Ergebnissen der intraoralen Methode:

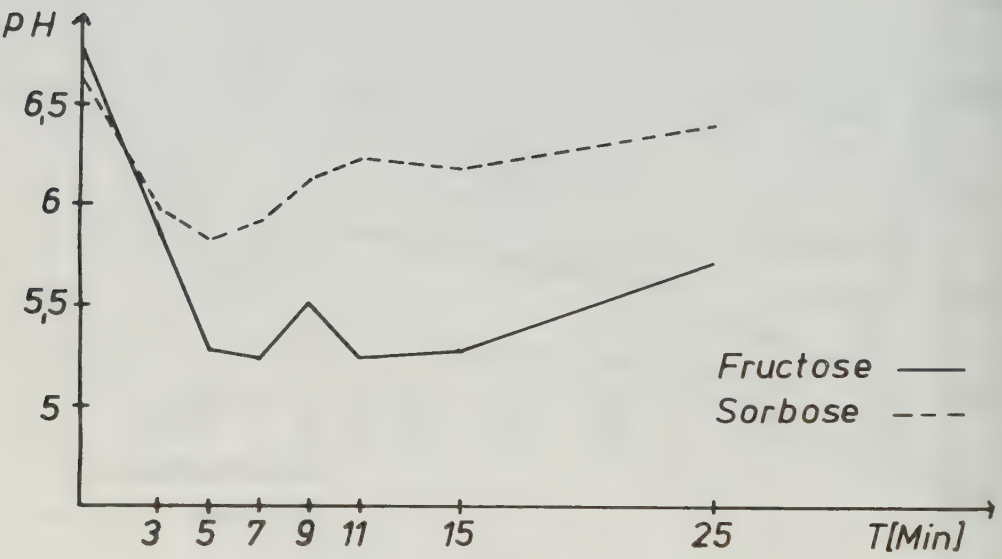
- Die pH-O-Werte unterscheiden sich nicht gravierend von denen der intraoralen Meßmethode.

- Die pH-Minima liegen deutlich über denen der intraoralen Methode; für Saccharose wird lediglich 5,17 z. Zt. t = 3 und 5 Minuten, für Glucose 5,12 bei t = 9 Minuten erreicht.

- Auch bei dieser Versuchsperson ist vor allem bei Glucose eine zeitliche Verschiebung der pH-Minimalwerte zu beobachten.

- Der pH-Wert steigt am Ende der Versuchsdauer nicht bis zum Ausgangswert an.

Fig. 2 f zeigt die extraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose beim Probanden J.F.



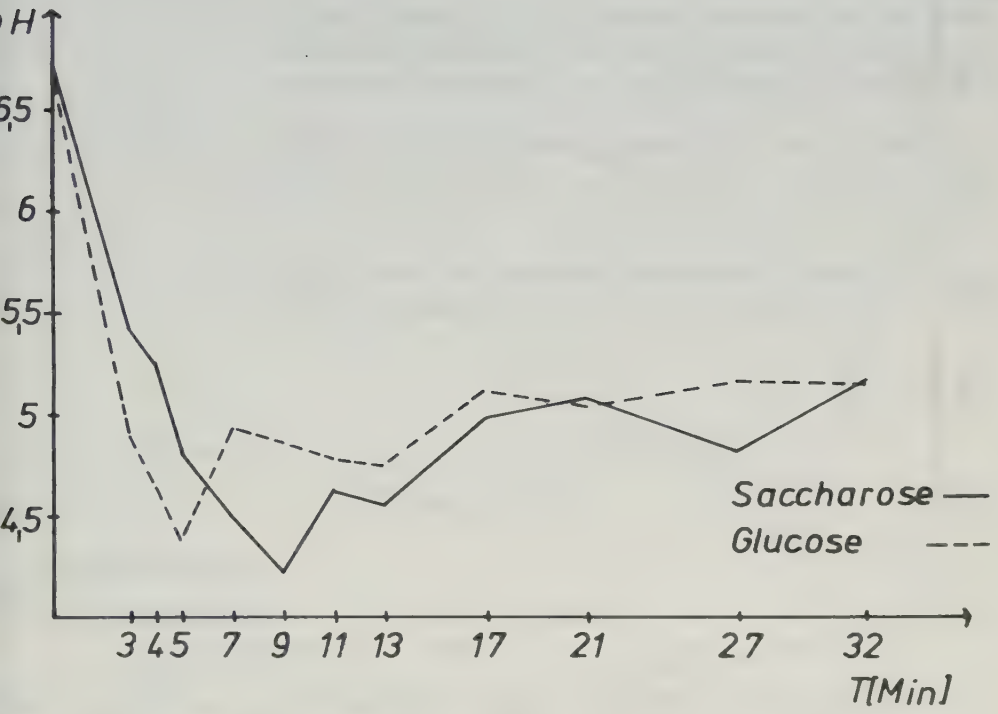
Interpretation der Kurven und ein Vergleich mit den Ergebnissen der intraoralen Methode:

- Die beiden Substanzen Sorbose und Fructose zeigen im Vergleich zur intraoralen Meßmethode ähnliche Kurvenverläufe, wobei die pH-Minima der Fructose mit 5,24 weit höher liegen, diejenigen der Sorbose mit 5,82 aber fast genauso tief.

- Ebenso sind zeitliche Verschiebungen der pH-Minimalwerte zu beobachten.

- Ein Anstieg auf den Ausgangswert ist nicht festzustellen.

Fig. 3 a zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Glucose und Saccharose beim Probanden J.H.

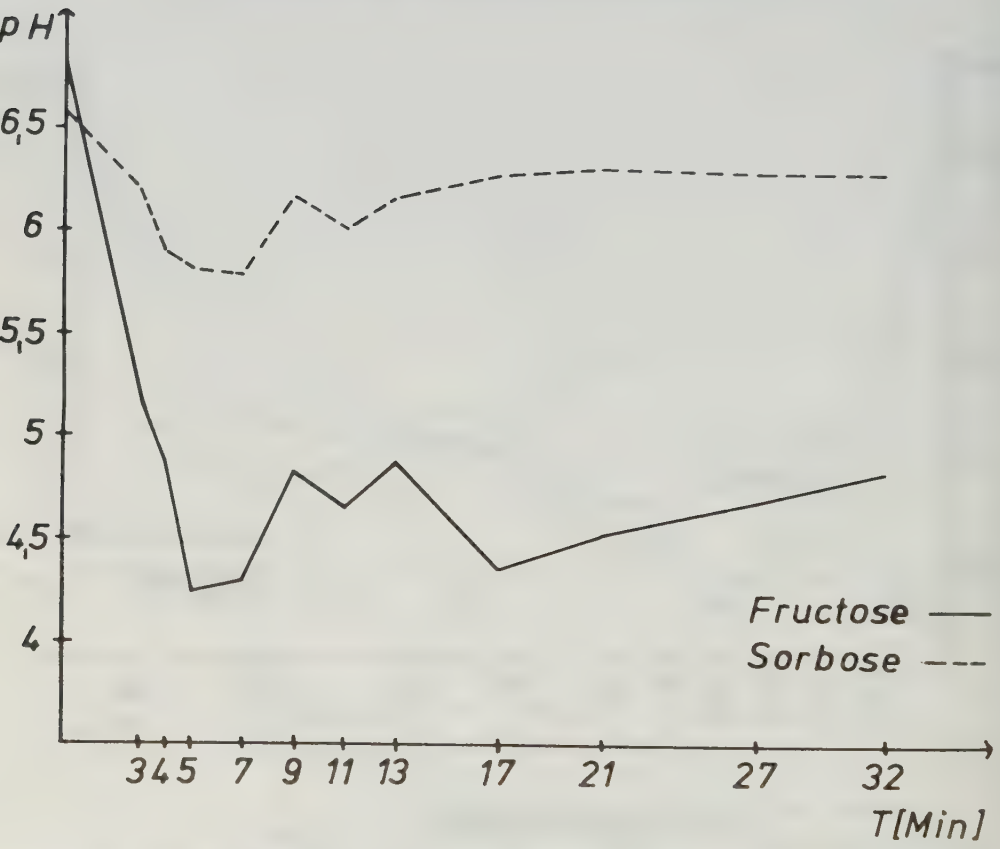


Interpretation der Kurven:

- Das pH-Minimum für Glucose liegt mit pH = 4,39 bei t = 5 Minuten und für Saccharose mit pH = 4,22 bei t = 9 Minuten.

- Beide Substanzen bleiben in der angegebenen Meßdauer von 32 Minuten unterhalb des kritischen pH-Wertes von 5,4 und erreichen somit nicht wieder ihren Ausgangswert.

Fig. 3 b zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose beim Probanden J.H.



Interpretation der Kurven:

- Die Stephankurve für Fructose zeigt bei t = 5 Minuten ein pH-Minimum von 4,25.

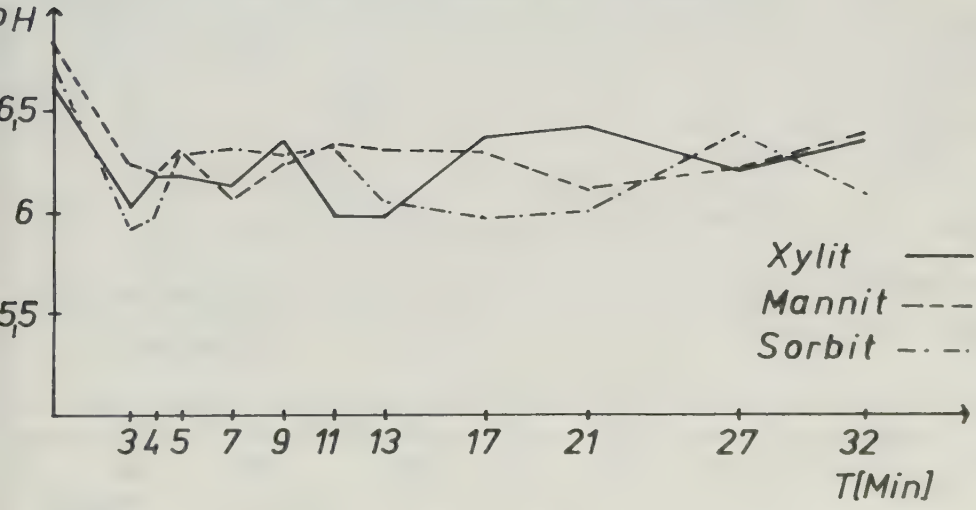
- In der Zeitspanne Δ t = 9 - 13 Minuten ist das gesamte pH-Niveau höher (pH = 4,8), um bei t = 17 Minuten erneut auf 4,35 abzusinken. Dieser Abfall um ca. eine halbe pH-Einheit wurde im selben Zeitraum auch beim Probanden J.F. beobachtet und dürfte auch hier dieselben Ursachen haben.

- Von t = 17 Minuten bis t = 32 Minuten steigt die Kurve kontinuierlich bis auf den Wert 4,82 an, der aber noch deutlich unter dem kritischen pH-Wert von 5,4 liegt.

- Sorbose verhält sich im gesamten Kurvenverlauf entsprechend ihrer geringen Kariogenität, so daß lediglich ein pH-Minimum von 5,78 z. Zt. t = 7 Minuten erreicht wird.

- Ein Ansteigen auf den Ausgangswert ist nach 32 Minuten nicht zu beobachten.

Fig. 3 c zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Xylit, Sorbit und Mannit beim Probanden J.H.



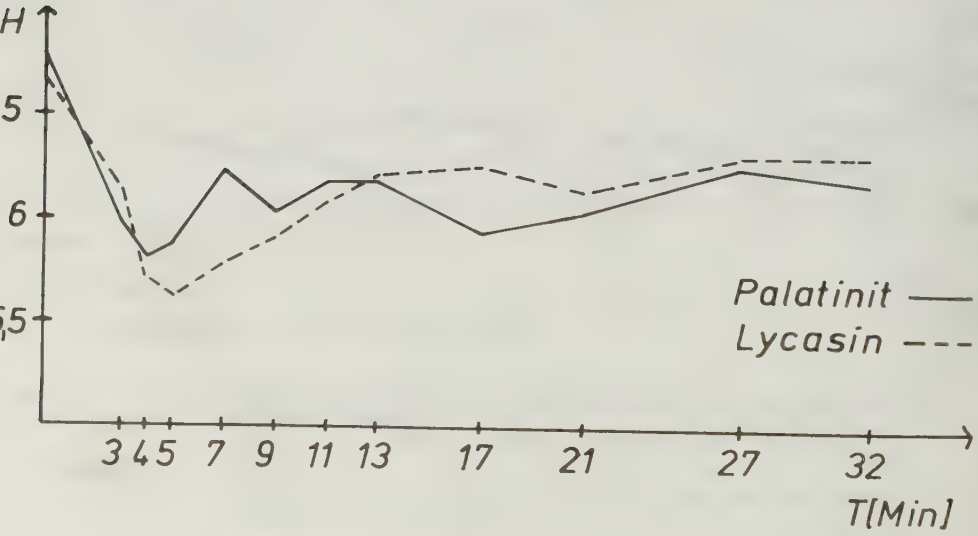
Interpretation der Kurven:

- Die Stephankurven der drei Polyalkohole Mannit, Xylit und Sorbit zeigen auf den ersten Blick in ihrem gesamten Verlauf relativ viele Gemeinsamkeiten, die pH-Werte liegen im Bereich pH = 6 bis 6,4 nur die Minima von Xylit und Sorbit knapp unter 6.

- Daß Xylit bei diesem Probanden Werte unter 6 erreicht, ist sicher individuell bedingt. Von Gehring et al. [30, 31] konnten nämlich 1975 nicht eingruppierbare Streptokokken mit geringer xylitabbauender Aktivität nachgewiesen werden.

- Alle drei Substanzen erreichen nach 32 Minuten Versuchsdauer ihren Ausgangswert nicht.

Fig. 3 d zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Palatinit ® und Lycasin ® beim Probanden J.H.



Interpretation der Kurven:

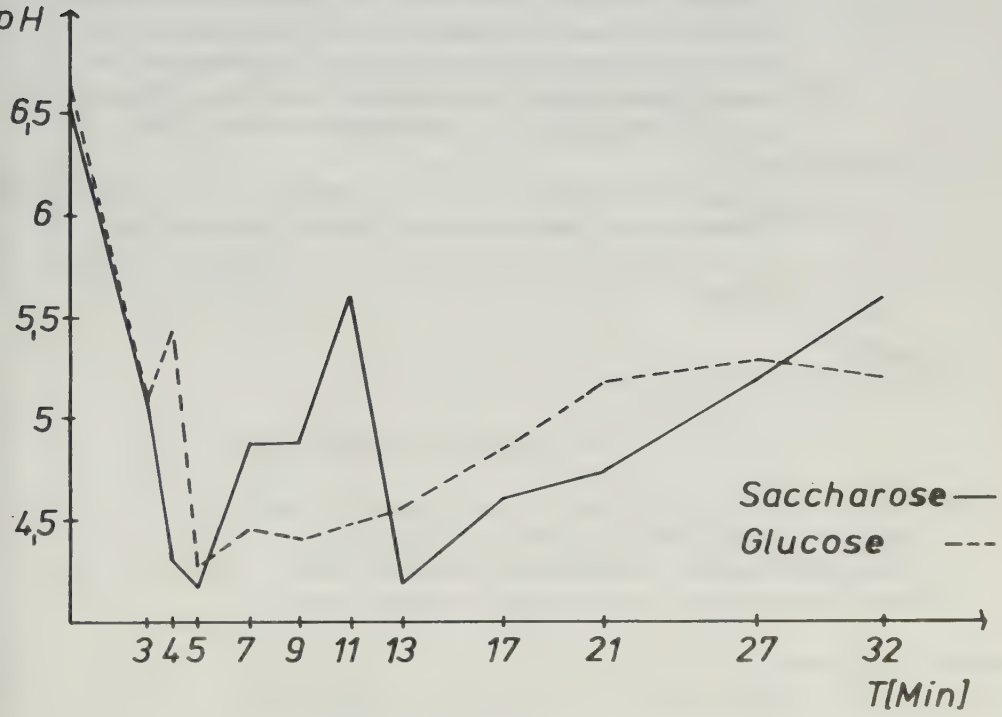
- Die Kurven für Palatinit ® und Lycasin ® erreichen ihre Minima z. Zt. t = 4 Minuten und t = 5 Minuten, wobei

Lycasin ® mit pH = 5,62 den tieferen Wert gegenüber Palatinit ® mit pH = 5,81 aufweist.

- Beide Substanzen zeigen sonst in ihrem Kurvenverlauf keine Auffälligkeiten.

- Sie erreichen den Ausgangswert nicht wieder.

Fig. 4 a zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Saccharose und Glucose bei der Probandin A.H.



Interpretation der Kurven:

-Relativ niedriger pH-O-Wert (6,4 - 6,6), der mit dem der Probandin A.F. vergleichbar ist.

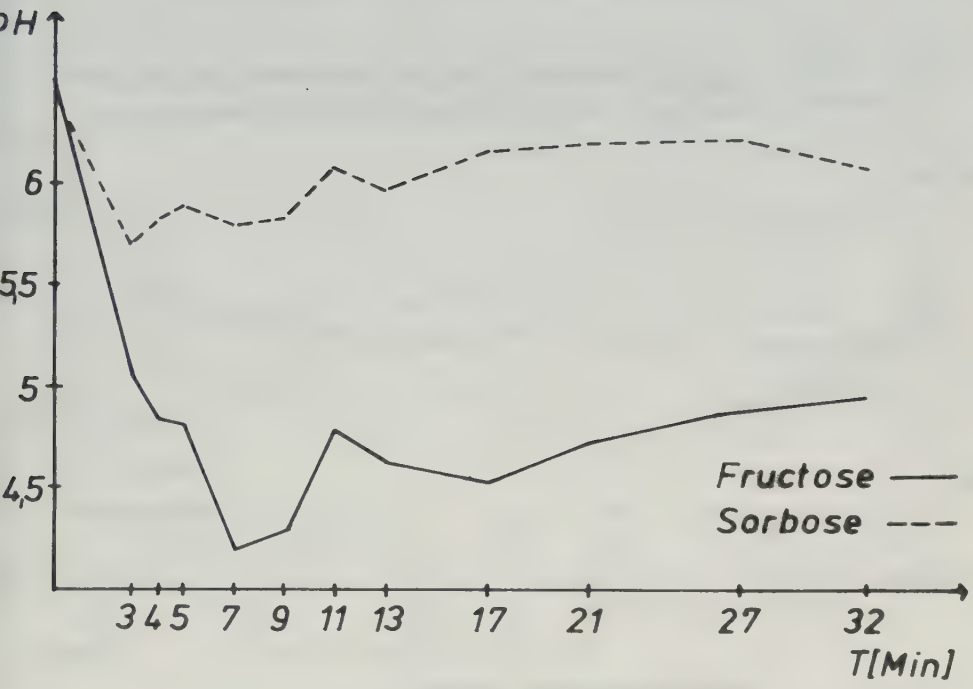
- Die Kurve für Glucose zeigt nichts auffälliges und erreicht z. Zt. t = 5 Minuten ihr Minimum mit pH = 4,27. Am Ende der Meßdauer bei t = 32 Minuten steigt sie auf pH = 5,18 an, liegt so also noch deutlich unter dem kritischen pH-Wert von 5,4.

- Die Stephankurve für Saccharose weist zwei minimale pH-Werte auf, die zeitlich bemerkenswert weit auseinander liegen und sich bei pH = 4,19 finden. Dazwischen steigt die Kurve z. Zt. t = 11 Minuten auf 5,61 an.

  Da der erneute Abfall des pH-Wertes ca. 1 1/2 pH-Einheiten beträgt, ist dies nicht allein auf meßtechnische Gegebenheiten zurückzuführen. Das schon bei mehreren Probanden beobachtete Phänomen wird hier wohl hauptsächlich mit einer erneuten regen Aktivität der Bakterien erklärbar sein, die in diesem Fall besonders auffällig wird.

- Am Ende der Meßdauer bei t = 32 Minuten hat die Kurve für Saccharose zwar den kritischen pH-Wert überschritten, erreicht aber ebenso wie Glucose den Ausgangswert nicht wieder.

Fig. 4 b zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose bei der Probandin A.H.



Interpretation der Kurven:

- Die Kurve für Fructose zeigt ein pH-Minimum von 4,21 bei t = 7 Minuten; der erneute leichte Abfall von t = 11 - 17 Minuten ist im Vergleich zur Saccharose weitaus weniger auffällig und sicherlich meßtechnisch bedingt.

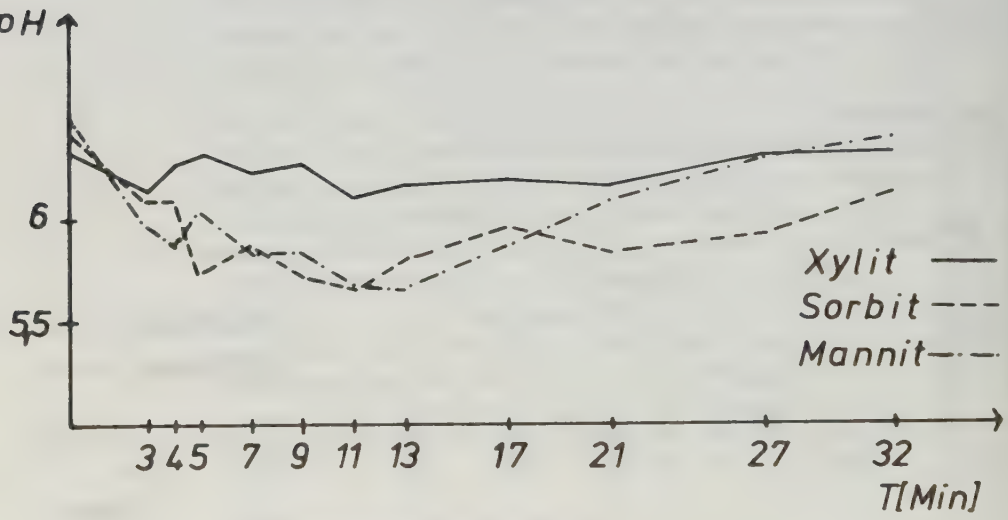
- Es imponiert jedoch der z. Zt. t = 32 Minuten noch relativ tiefe pH-Wert mit 4,97, der deutlich unter dem kritischen pH-Wert von 5,4 liegt.

- Sorbose zeigt im gesamten den zu erwartenden Kurvenverlauf mit einem sehr frühen pH-Minimum von 5,71 bei

t = 3 Minuten und einen relativ schnellen Anstieg auf Werte über 6.

- Der Ausgangswert wird nicht wieder erreicht.

Fig. 4 c zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Xylit, Sorbit und Mannit bei der Probandin A.H.



Interpretation der Kurven:

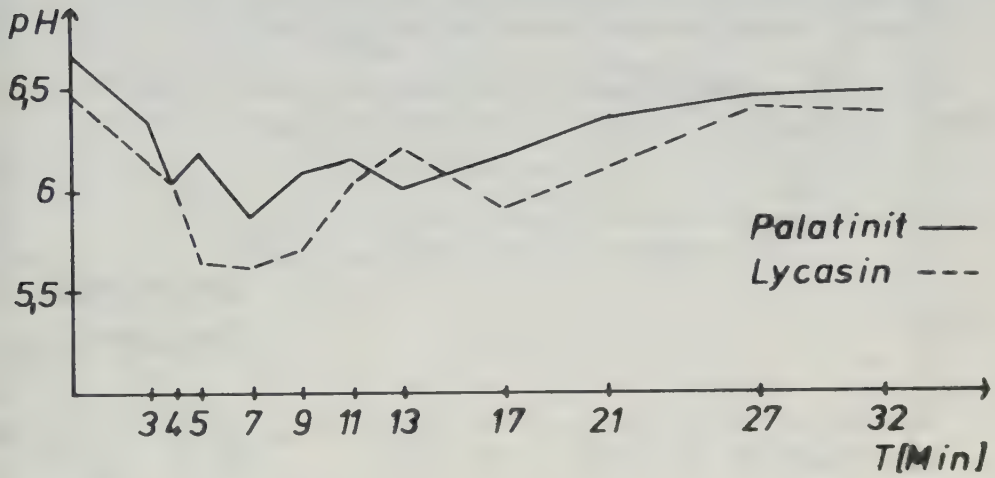
- Die Stephankurve für Xylit weist ein pH-Minimum von 6,08 bei t = 11 Minuten auf und einen Anstieg beinahe auf das Ausgangsniveau in der Zeitspanne Δ t = 3 - 9 Min.

- Xylit erreicht bei t = 32 Minuten fast wieder den Ausgangswert von pH = 6,37.

- Ein wesentlich tieferes pH-Minimum zeigen die Polyalkohole Sorbit mit 5,64 bei t = 11 Minuten und Mannit mit 5,65 z.Zt. t = 13 Minuten, wobei aber der kritische pH-Wert nicht erreicht wird.

- Mannit erreicht fast wieder seinen Ausgangswert bei t = 32 Minuten.

Fig. 4 d zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Palatinit ® und Lycasin ® bei der Probandin A.H.



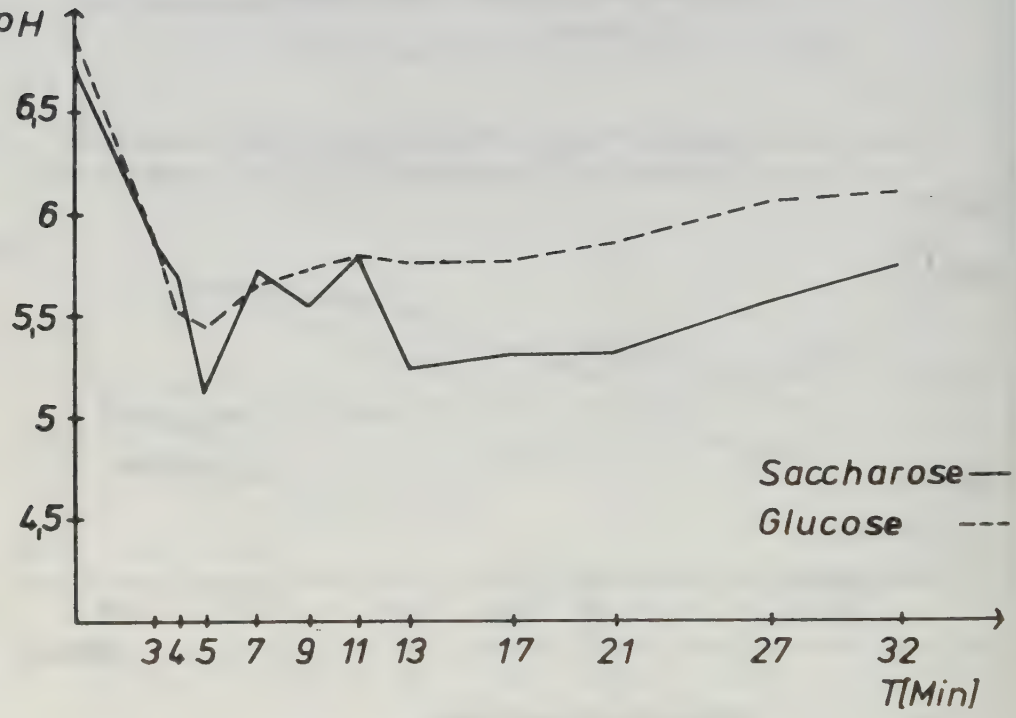
Interpretation der Kurven:

- Palatinit ® erreicht ein pH-Minimum von 5,89 z. Zt. t = 7 Minuten und steigt dann rasch wieder auf Werte über 6 an.

- Lycasin ® zeigt im Bereich von t = 5 - 9 Minuten mehr ein minimales Kurvenplateau, bei dem die Werte eng beeinander liegen. Das pH-Minimum mit 5,62 findet sich bei t = 7 Minuten.

- Der Kurvenabfall von 13 - 17 Minuten ist sicher meßtechnisch bedingt.

Fig. 5 a zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Glucose und Saccharose bei der Probandin B.B.



Interpretation der Kurven:

- Relativ hoher pH-0-Wert im Vergleich zu den Probandinnen A.F. und A.H.

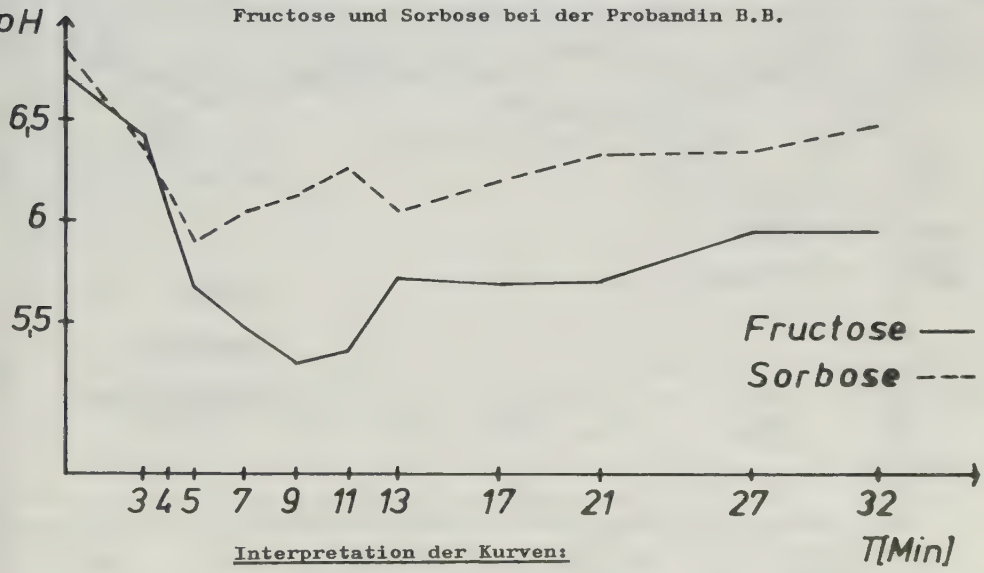
- Der Abfall des pH-Wertes ist bei Glucose und Saccharose deutlich geringer als bei allen anderen Probanden. Dies hängt ursächlich damit zusammen, daß diese Versuchsperson über eine schlechte Plaquebildung verfügte, die schätzungsweise 30 % unter dem Durchschnitt der anderen Probanden liegt.

So sinkt der pH-Wert für Glucose nur auf 5,45 z. Zt. t = 5 Minuten, womit nach der Definition der kritische pH-Wert noch nicht einmal ganz erreicht wird.

- Die Saccharose dagegen weist einen etwas tieferen Wert von 5,13 bei t = 5 Minuten auf. Das Phänomen der zwei Kurvenminima, wie es schon mehrfach beschrieben wurde, läßt sich auch bei dieser Probandin deutlich erkennen.

- Beide Substanzen erreichen nach 32 Minuten nicht wieder ihren Ausgangswert.

Fig. 5 b zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose bei der Probandin B.B.



Interpretation der Kurven:

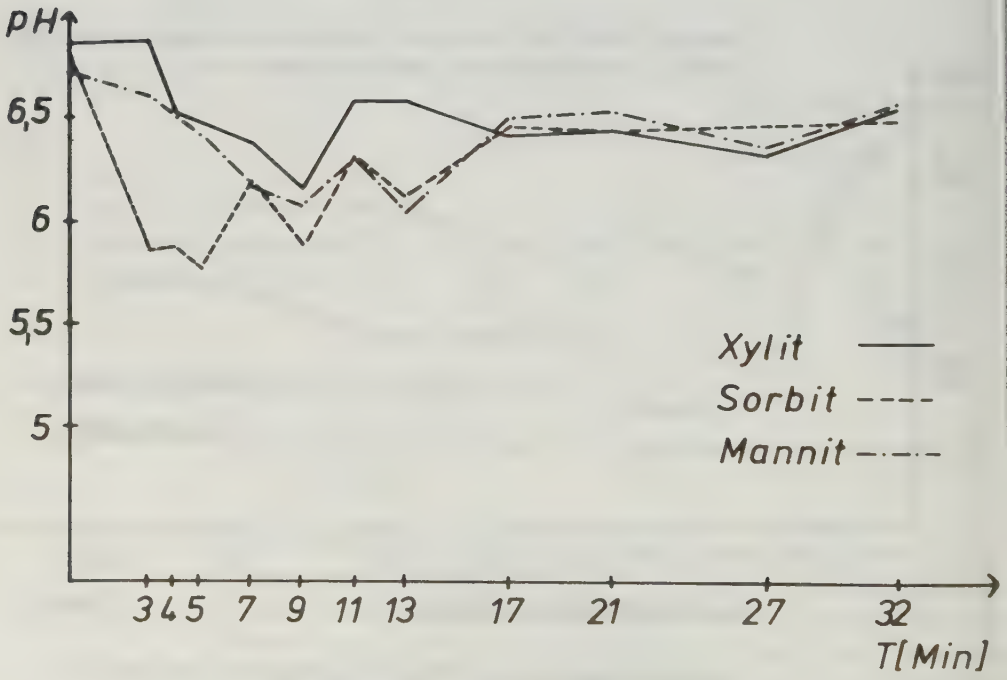
- Die Stephankurve für Fructose zeigt ihr Minimum mit pH = 5,30 bei t = 9 Minuten, was in seiner Höhe ganz dem von Glucose und Saccharose entspricht.

- Der kritische pH-Wert wird zwar erreicht, jedoch schnell wieder überschritten.

- Die Kurve für Sorbose hat ein Minimum von pH = 5,91 bei t = 5 Minuten und weist im weiteren Verlauf, abgesehen vom minimalen Abfall zwischen 11 und 13 Minuten, keine weiteren Besonderheiten auf.

- Beide Substanzen erreichen nach 32 Minuten den Ausgangswert nicht wieder.

Fig. 5 c zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Xylit, Sorbit und Mannit bei der Probandin B.B.



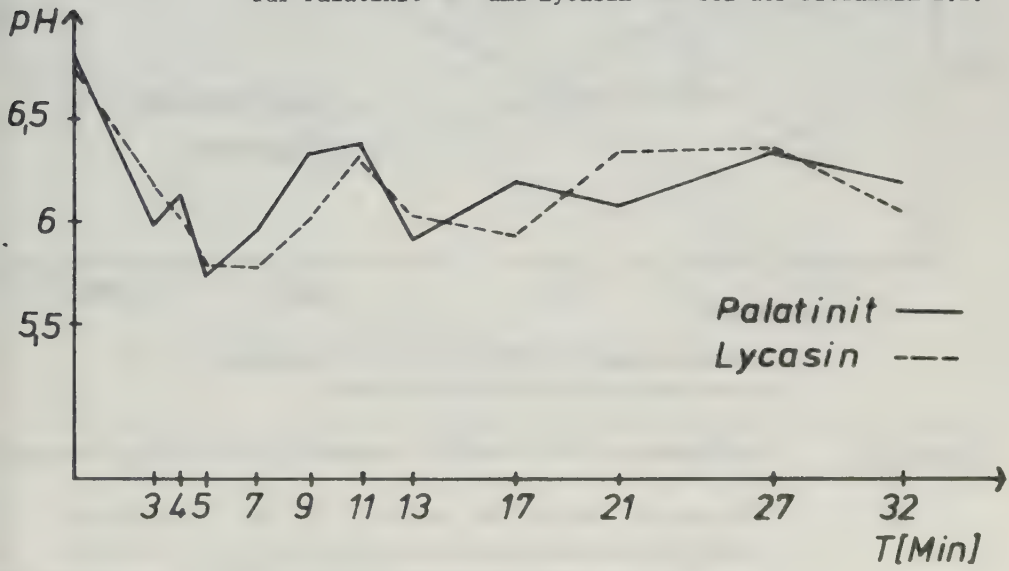
Interpretation der Kurven:

- Die beiden Polyalkohole Xylit und Mannit zeigen bei der Probandin B.B. den zu erwartenden Kurvenverlauf, wobei Mannit sein Minimum mit pH = 6,02 relativ spät z. Zt.

t = 13 Minuten erreicht. Insgesamt unterschreiten beide Substanzen den pH-Wert von 6 nicht, erreichen aber auch nicht ihren Ausgangswert wieder.

- Der Zuckeralkohol Sorbit dagegen fällt im Vergleich zu Xylit und Mannit viel stärker ab. Folglich muß man auch hier bei dieser Probandin an das natürliche Vorkommen der Sorbit-Dehydrogenase im Speichel denken.

Fig. 5 d zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Palatinit ® und Lycasin ® bei der Probandin B.B.

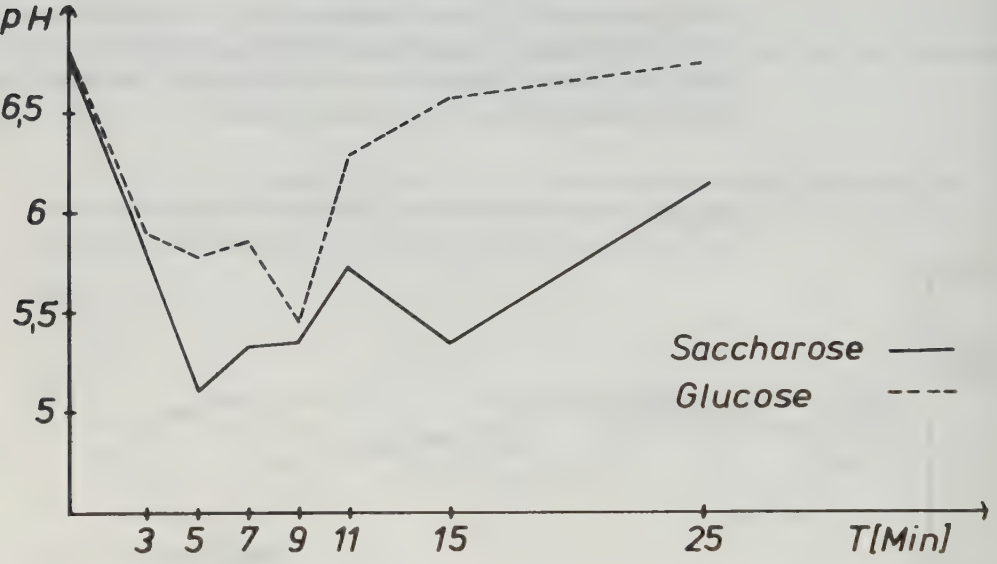


Interpretation der Kurven:

- Palatinit ® und Lycasin ® zeigen ähnlich tiefe pH-Werte wie Sorbit, wobei die zwei Substanzen ein zweites, weniger tiefes, aber doch deutliches Minimum zeigen. Auch dieses Phänomen wurde schon bei mehreren anderen Probanden beobachtet und dürfte denselben Erklärungen unterliegen.

- Beide Substanzen sinken nicht unter den kritischen pH-Wert von 5,4 und erreichen nach Beendigung der Meßdauer den Ausgangswert nicht wieder.

Fig. 5 e zeigt die extraoral ermittelten Stephankurven für Glucose und Saccharose bei der Probandin B.B.



Interpretation der Kurven und ein Vergleich mit den Ergebnissen der intraoralen Methode:

- Der pH-0-Wert ist dem der intraoralen Methode vergleichbar.

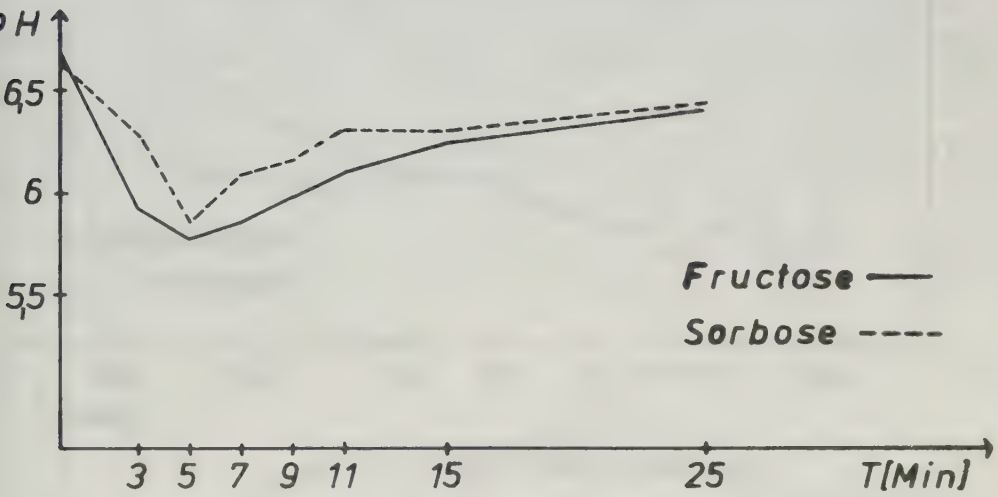
- Die Minima für Glucose von pH = 5,46 bei t = 5 Minuten und für Saccharose von pH = 5,11 z. Zt. t = 5 Minuten sind nur unwesentlich von den Minimalwerten der intraoralen Methode verschieden, jedoch ist das Minimum für Glucose zeitlich verschoben.

- Die Tatsache der annähernd gleich tiefen Werte kann gerade bei dieser Probandin nur damit befriedigend erklärt werden, daß die gesammelten Plaquemengen bei der extraoralen Methode doch größer sind und damit ihr pH-Wert natürlich tiefer. Offensichtlich spielt der schon erwähnte Verdünnungseffekt mit den 0,04 ml H_2O dest. im Vergleich beider Methoden in diesem Falle keine so entscheidende Rolle

- Auffällig sind auch die beiden Minima in der Kurve für Saccharose, die zeitlich ziemlich genau mit den intraoral ermittelten Minima übereinstimmen.

- Für Glucose steigt der pH-Wert nach 25 Minuten annähernd wieder auf seinen Ausgangswert an.

Fig. 5 f zeigt die extraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose bei der Probandin B.B.

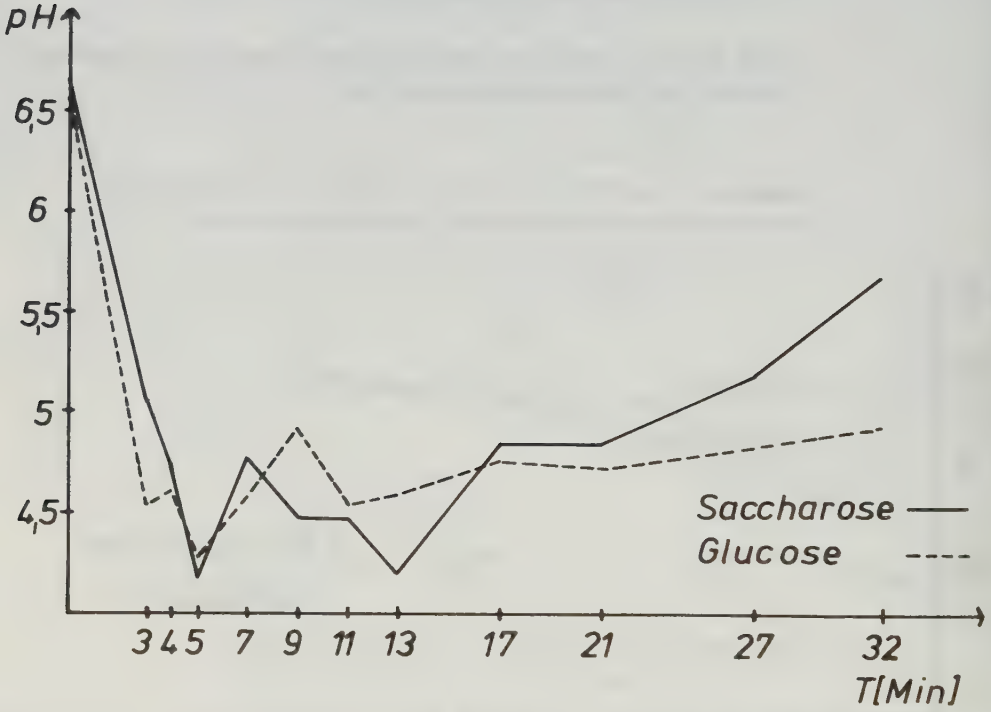


Interpretation der Kurven und ein Vergleich mit den Ergebnissen der intraoralen Methode:

- Der gesamte Kurvenverlauf für Sorbose ist annähernd dem der intraoralen Meßmethode ähnlich, wobei das pH-Minimum mit 5,83 z. Zt. t = 5 Minuten sogar etwas tiefer ist.

- Der pH-Abfall für Fructose ist sehr viel geringer als im Vergleich zur intraoralen Methode und liegt nur bei 5,78 z. Zt. t = 5 Minuten.

Fig. 6 a zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Glucose und Saccharose beim Probanden C.B.



Interpretation der Kurven:

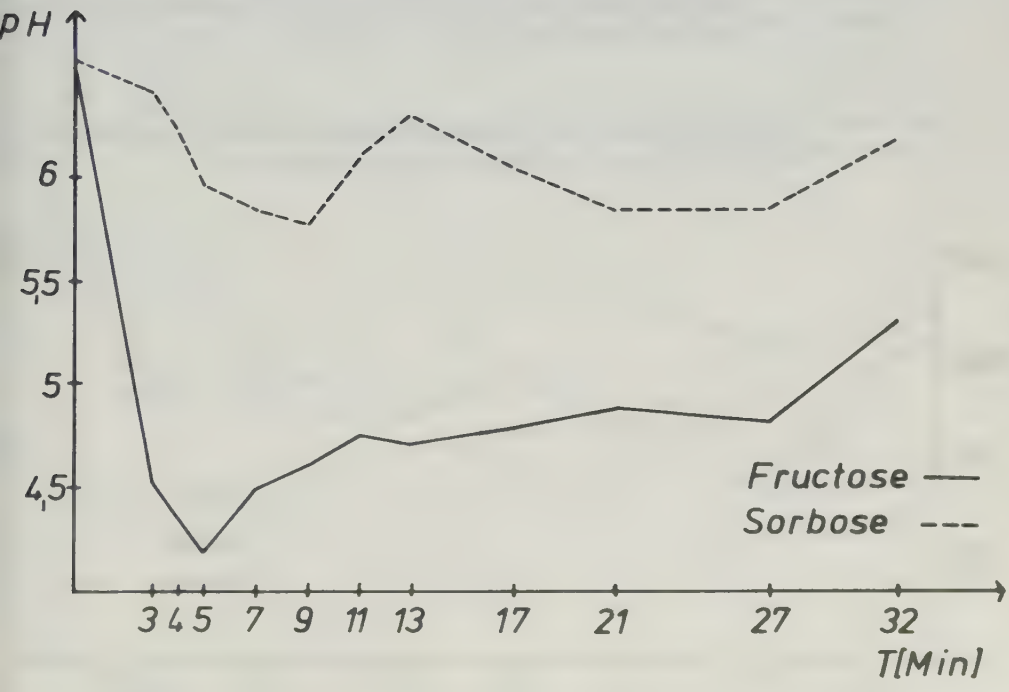
- Relativ höherer pH-0-Wert im Vergleich zu dem anderer Probanden.

- Die Stephankurve für Glucose zeigt ein pH-Minimum von 4,28 bei t = 5 Minuten, steigt dann kontinuierlich an und verbleibt aber nach 32 Minuten noch weit unter dem kritischen pH-Wert von 5,4. Der relativ höhere Wert z. Zt. t = 9 Minuten von pH = 4,92 dürfte wieder meßtechnisch bedingt sein.

- Die Stephankurve für Saccharose weist die schon mehrmals beobachteten zwei Minima auf, z. Zt. t = 5 Minuten von pH = 4,18 und bei t = 13 Minuten von pH = 4,20.

- Am Ende der Meßperiode von 32 Minuten erreicht Saccharose einen Wert von 5,68, der aber noch weit unter dem Ausgangswert von 6,66 liegt.

Fig. 6 b zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose beim Probanden C.B.

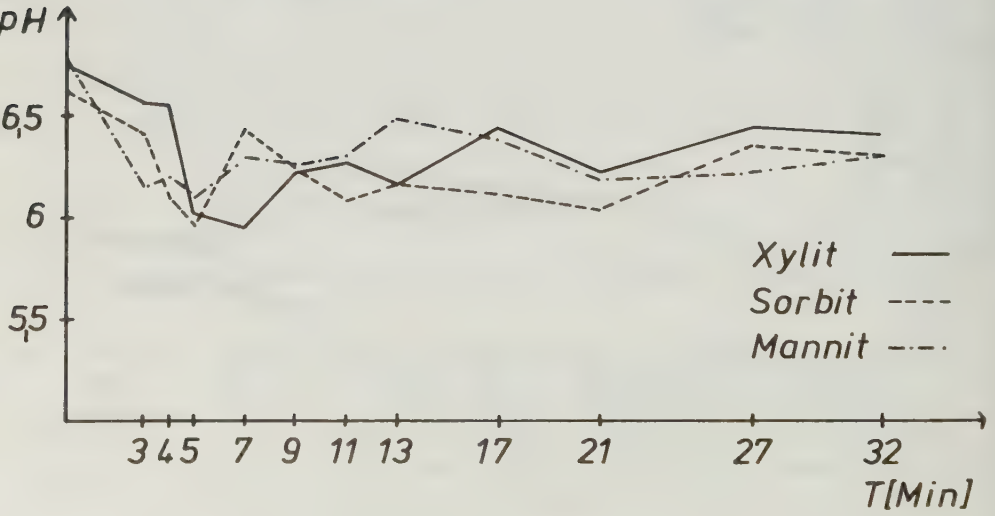


Interpretation der Kurven:

- Die Stephankurve für Fructose zeigt den erwarteten Verlauf mit einem pH-Minimum von 4,19 z. Zt. t = 5 Min. und steigt aber lediglich bis 5,31 nach 32 Min. an, womit sie innerhalb der Meßdauer den kritischen pH-Wert von 5,4 nicht überschreitet.

- In der Kurve für Sorbose zeigt sich ein Minimum von pH = 5,78 z. Zt. t = 9 Min. und weitere Minimalwerte von 5,85 und 5,86 bei t = 21 und t = 27 Min.. Es handelt sich hierbei wohl wieder um das schon oft diskutierte Phänomen der "Säureschübe".

Fig. 6 c zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Xylit, Sorbit und Mannit beim Probanden C.B.

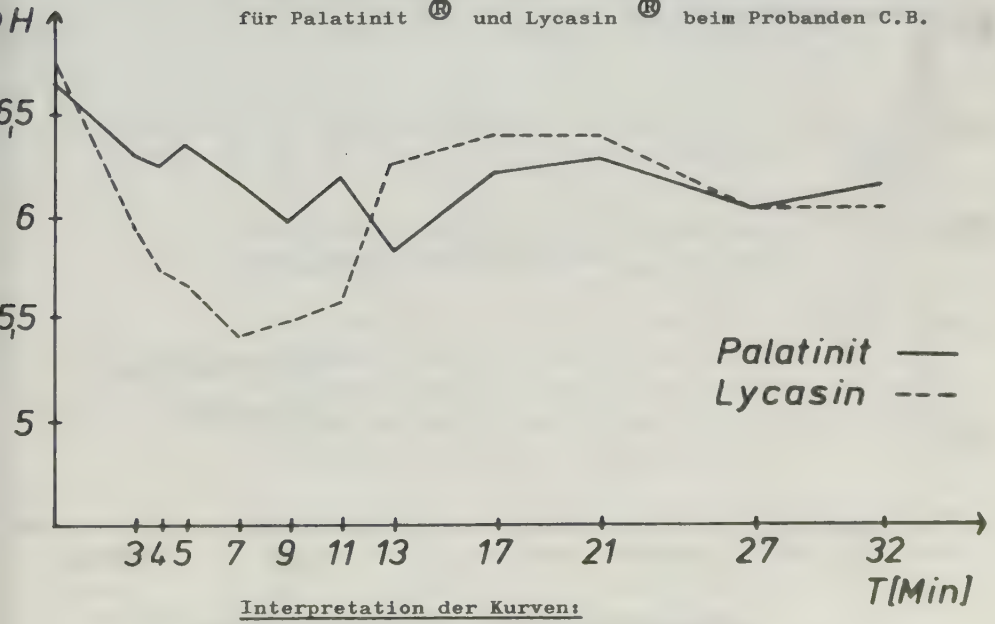


Interpretation der Kurven:

- Die drei Polyalkohole Xylit, Sorbit und Mannit zeigen in ihren Stephankurven einen mehr oder weniger unauffälligen Verlauf mit den zu erwartenden Minima. Der pH-Wert von 6 wird dabei nur von Sorbit (pH = 5,96) und Xylit (pH = 5,93) geringfügig unterschritten.

- Nach der Meßdauer von 32 Minuten liegen die erreichten pH-Werte aber noch deutlich unter denen der Ausgangswerte, womit die Dauer der vollständigen Neutralisation auch bei diesen Probanden noch über dieser Zeit liegt.

Fig. 6 d zeigt die intraoral ermittelten Stephankurven für Palatinit ® und Lycasin ® beim Probanden C.B.



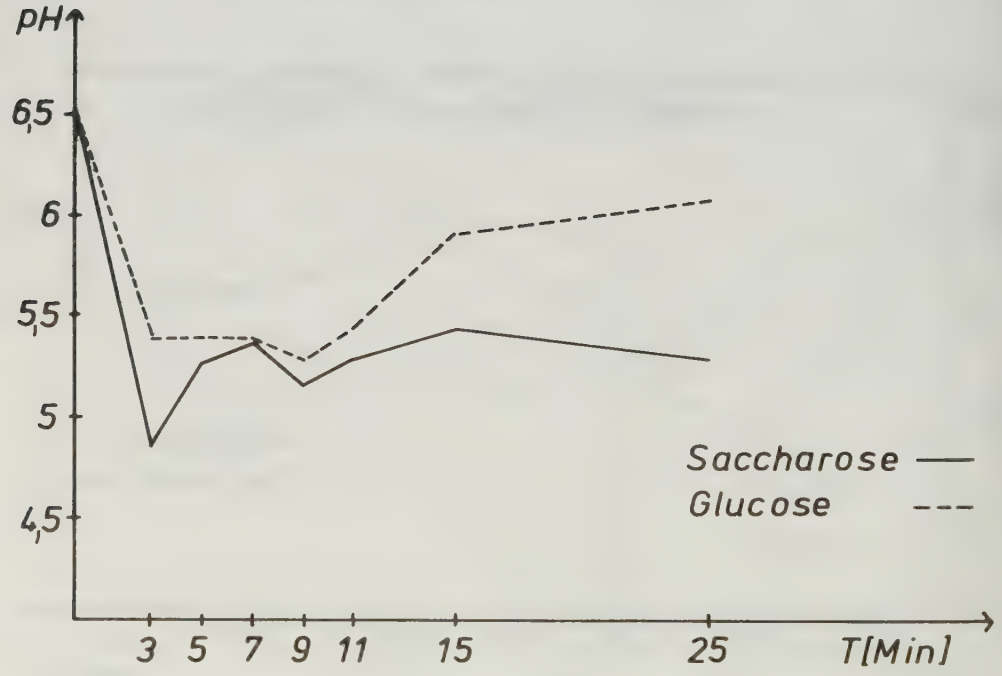
Interpretation der Kurven:

- Die Stephankurve für Palatinit ® erreicht ihr Minimum von 5,83 erst z.Zt. t = 13 Minuten und steigt dann auf Werte über 6 an. Der erneute Abfall bei t = 27 Minuten ist sicherlich meßtechnisch bedingt.

- Am Ende der Meßperiode liegt der pH-Wert mit 6,16 noch deutlich unter dem Ausgangswert.

- Die Stephankurve für Lycasin ® weist ein pH-Minimum von 5,42 bei t = 7 Minuten auf, steigt dann sehr schnell auf Werte über 6 an, um z. Zt. t = 27 Minuten erneut auf 6,04 abzufallen.

Fig. 6 e zeigt die extraoral ermittelten Stephankurven für Glucose und Saccharose beim Probanden C.B.

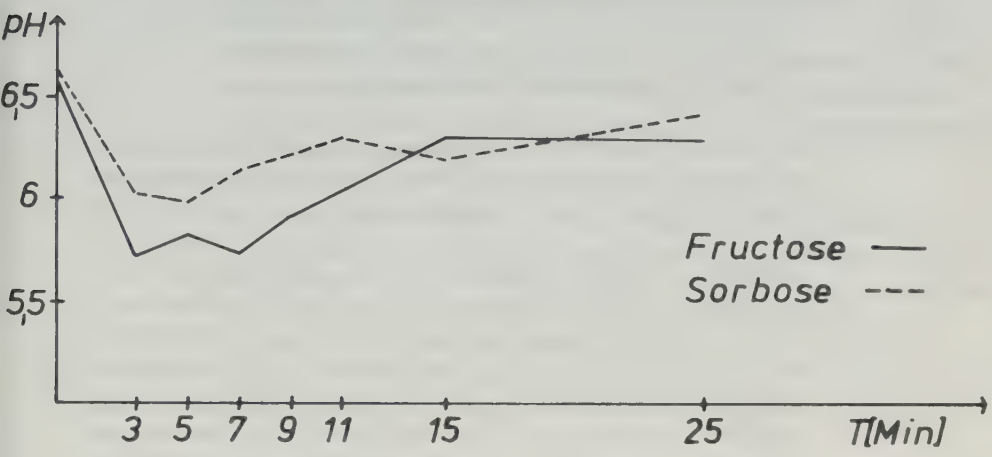


Interpretation der Kurven und ein Vergleich mit den Ergebnissen der intraoralen Methode:

- Sowohl Glucose als auch Saccharose zeigen bei der extraoralen Meßmethode deutlich die zu erwartenden höheren pH-Minima mit den entsprechenden zeitlichen Verschiebungen.

- Auffällig ist jedoch, daß Glucose im Gegensatz zu Saccharose den kritischen pH-Wert von 5,4 schneller wieder überschreitet.

Fig. 6 f zeigt die extraoral ermittelten Stephankurven für Fructose und Sorbose beim Probanden C.B.



Interpretation der Kurven und ein Vergleich mit den Ergebnissen der intraoralen Methode:

- Die Stephankurve für Sorbose zeigt einen relativ unauffälligen Verlauf mit einem pH-Minimum von 5,98 z. Zt. t = 5 Min., der aber noch deutlich über dem mit der intraoralen Methode ermittelten Wert liegt und zeitlich verschoben 4 Min. früher erscheint.

- Fructose weist ein pH-Minimum von 5,73 z. Zt. t = 3 Min. und einen weiteren Minimalwert von 5,74 bei t = 7 Min. auf. Im Vergleich zur intraoralen Meßmethode sind diese Werte erwartungsgemäß sehr viel höher.

V. Diskussion

Seit Stephan (1940) hat es viele Versuche gegeben, um eine "in vivo"-Methode zur Bestimmung des pH-Wertes in der dentalen Plaque zu entwickeln, die

1. eine ausreichende Reproduzierbarkeit besitzt
2. präparativ leicht zu handhaben ist und die
3. möglichst alle physiologischen Bedingungen in der Mundhöhle ausreichend berücksichtigt.

Alle bisher verwendeten Methoden, seien es nun intraorale oder extraorale, haben neben den ihnen eigenen Vorteilen oftmals auch ganz entscheidende Nachteile.

Zweifellos ist die intraorale Methode nach Neff [7] für die Probanden sehr unangenehm, es wird die Plaqueoberfläche durch das Eintauchen der Elektroden zerstört und daraus resultiert ein unphysiologischer, durch Kapillarkräfte hervorgerufener Weg der Zuckerlösung in die Plaque. Wegen der erforderlichen Eintauchtiefe der Elektroden ist eine wesentlich größere Belagmenge nötig als bei der hier verwendeten Methode. Schließlich besteht über die gesamte Versuchsdauer wegen des permanent geöffneten Mundes die Gefahr der Plaqueaustrocknung, weil die Benetzung mit Speichel nicht in physiologischer Weise erfolgen kann.

Alle diese genannten Nachteile umgeht Mühlemann et al. [11] mit der Entwicklung der Radioelemetrie. Er konnte damit fast physiologische Verhältnisse schaffen, den pH-Wert an der für die Entkalkung des Schmelzes so wichtigen Grenzfläche Elektrode-anaerobe Bakterienschicht exakt beobachten, ohne die Probanden während der Versuche allzusehr zu belasten.

Leider benötigt aber die Radiotelemetrie einen immensen apparativen Aufwand und ist deshalb auch nur in Kliniken bzw. den dafür geeigneten Instituten anzuwenden.

Mit der in dieser Arbeit vorgestellten Methode der intraoralen pH-Bestimmung ist es nun möglich, weitgehend die physiologischen Voraussetzungen des Diffusionsverhaltens und der puffernden Wirkung durch die Speichelbenetzung zu berücksichtigen. Die Oberfläche der Plaque wird mit dem Auflegen der Elektrode zwar etwas zerstört, wegen der nötigen geringen Schichtdicke jedoch nur in unwesentlichem Maß. Wenn man dann die gemessenen pH-Minimalwerte vergleicht, scheint diese Zerstörung ohne wesentliche Bedeutung zu sein. Ein direkter Vergleich der Minimalwerte mit denen anderer Methoden ist ohnehin nicht möglich, da die Versuchsbedingungen zu stark variieren.

So verwendeten Mühlemann et al. eine mindestens drei Tage alte Interdentalplaque und normalerweise 5 %-ige Zuckerlösungen für ihre Messungen. Es besteht aber ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Tiefe des pH-Wertes und der Konzentration der Lösungen bzw. dem Alter der Plaque [27, 32, 33]. In der vorliegenden Arbeit wurde eine 24 Stunden alte Plaque und eine 20 %-ige Zuckerlösung verwendet.

Beim Vergleich der pH-Minimalwerte zeigt sich, daß auch von Mühlemann et al. [11] für die Zucker Saccharose, Fructose und Glucose Werte um pH = 4,0 und knapp darunter zu beobachten sind, während die eigenen Werte pH = 4,2 selten und nur geringfügig unterschreiten. Diese Diskrepanz ist gemessen an der unterschiedlichen Versuchsdurchführung unerheblich. Auch für die Sorbose zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung bezüglich des pH-Minimums.

Ebenso läßt sich bei den Zuckeraustauschstoffen Xylit, Sorbit, Mannit und Lycasin ® das pH-Minimum mit den Ergebnissen von Mühlemann et al. [11] vergleichen, wobei Sorbit bei einem Probanden einen pH-Wert von 5,6 und bei einem anderen als tiefsten Wert sogar 5,37 erzeugte. Insgesamt sind die sorbitvergärenden Mikroorganismen offenbar quantitativ nicht in der Lage, den pH-Wert weiter als durchschnittlich 5,6 zu senken [12]. Wahrscheinlich werden

die langsamer gebildeten Säuren vom Puffersystem abgefangen, oder die Fermentation ist langsamer als bei anderen Zuckern. Ähnliches gilt sicher auch für Xylit [30], Mannit sowie die anderen Austauschstoffe Lycasin® und Palatinit®. Einige Autoren bestätigen auch in "in vitro"-Versuchen den verzögerten Abbau von Sorbit [19, 29, 34]. Dallmeier et al. [35] sieht den Grund hierfür in zum Teil membrangebundenen Enzymen, die für ihre Freisetzung längere Zeit benötigen, was wiederum die Einschleusung von Sorbit in entsprechende Stoffwechselwege im Vergleich zu anderen Zuckern beeinträchtigt. Widersprüchlich dazu ist aber der regelmäßige Anstieg des pH-Wertes gegen Ende der Meßdauer. So scheint unter natürlichen Bedingungen in der Mundhöhle offenbar doch ein schnellerer Abbau möglich zu sein und es findet im Vergleich zu den "in vitro"-Versuchen keine kariogene Säureproduktion "in vivo" statt.
Neff [7], der ebenfalls Sorbit mit seiner intraoralen Methode untersuchte, konnte aber keine nennenswerte Säureproduktion über eine Zeitspanne von 30 Minuten feststellen. Seine Werte lagen selbst mit 50 %-igen Sorbitlösungen nicht unter pH = 6.

Nach den eigenen Ergebnissen scheint die Säureproduktion während einer Meßdauer von 32 Minuten entweder von der individuellen Plaquezusammensetzung oder vom Vorhandensein der Sorbit-Dehydrogenase abzuhängen, denn nur zwei Probanden erreichten einen pH-Wert unter 5,6, bei den anderen lagen die Werte im Durchschnitt wenig unter pH = 6,0.

Etwas diskrepant verhalten sich oft die Zeitpunkte der erreichten pH-Minima, die am Beispiel der Saccharose von Graf und Mühlemann [12] durchschnittlich 10 - 15 Minuten später angegeben werden, als sie von Frostell und Neff erreicht werden [7, 25], deren Minima für Saccharose schon nach fünf Minuten zu beobachten sind.

Nach den eigenen Ergebnissen liegen die pH-Minima für Saccharose bei drei Probanden durchschnittlich bei t =

10 Minuten. Bei den anderen drei Versuchspersonen erscheinen aber zwei ausgeprägte Minima nach durchschnittlich 5 - 13 Minuten. Sicher kann für den "zweiten Säureschub" neben meßtechnischen Gründen eine individuell bedingte unterschiedliche Zusammensetzung der Plaque verantwortlich sein. So ist auch denkbar, daß Saccharose nach der intramolekularen Spaltung in Glucose und Fructose zu verschiedenen Zeitpunkten mit höchster bakterieller Aktivität verstoffwechselt wird, was sich dann deutlich in der erzeugten Säuremenge zeigt.

Neben diesem individuellen Faktor in Verbindung mit den chemischen Eigenheiten der Substanzen spielt vielleicht auch die vollkommen unzerstörte Plaqueoberfläche bei telemetrischen Messungen eine Rolle. Nun ist aber doch für die Beurteilung der Kariogenität einer Substanz unerheblich, zu welchem Zeitpunkt eine maximale Wasserstoffionenkonzentration vorliegt, sondern es ist vielmehr wichtiger,wie hoch diese ist.

Wenn man nun die beiden Methoden der extra- und der intraoralen pH-Wertbestimmung an einem Probanden vergleicht, so treten doch offensichtlich die Unzulänglichkeiten der extraoralen Methode zutage.

Vor allem ist hier zu nennen, daß der pH-Wert in einer definierten Meßdauer ganz allgemein schneller wieder gegen den Ausgangswert ansteigt [26, 32, 33] und die erreichten pH-Minima bei konstanten Bedingungen extraoral gemessen in der Regel doch deutlich höher liegen [13, 21], als sie mit der intraoralen Methode erreicht werden. Für die verlängerte Phase eines erniedrigten pH-Wertes erscheint so als glaubwürdigste Erklärung die Annahme, daß die puffernde Wirkung des Speichels unter physiologischen Bedingungen langsamer durch die Plaquematrix bis zur Grenzschicht Schmelz-Plaque diffundiert. Da beim Abschaben des Belages unvermeidlich Speichel mit abgenommen wird, der durch den

Vorgang des Suspendierens seine puffernde Wirkung ausüben kann, werden, neben dem erheblichen Verdünnungseffekt durch das Wasser, die höheren extraoral gemessenen pH-Werte verständlich.

Dies wiederum führt aber dazu, daß zu prüfende Substanzen leicht in den Verdacht geraten können, nicht oder nur wenig kariogen zu sein. Dies konnte bei drei Probanden im direkten Vergleich eindeutig gezeigt werden.

VI. Tabellenanhang:

Intraorale Messung

Mittelwertskurven ($\bar{x}$) und
Standardabweichung (s) vom Mittelwert

T [Min]		0	3	4	5	7	9	11	13	17	21	27	32
Saccharose	$\bar{x}$	6,64	5,40	5,08	4,57	4,82	4,61	4,94	4,67	5,14	5,20	5,29	5,54
	s	0,10	0,22	0,49	0,35	0,47	0,52	0,45	0,42	0,30	0,52	0,45	0,36
Glucose	$\bar{x}$	6,62	5,28	5,14	4,67	4,77	4,86	4,79	4,74	5,0	5,1	5,2	5,42
	s	0,13	0,51	0,39	0,46	0,46	0,50	0,49	0,46	0,42	0,42	0,49	0,57
Fructose	$\bar{x}$	6,61	5,24	5,02	4,63	4,70	4,77	4,88	4,97	4,89	5,02	5,23	5,39
	s	0,14	0,63	0,52	0,52	0,47	0,33	0,25	0,41	0,49	0,43	0,56	0,43
Sorbose	$\bar{x}$	6,60	6,14	5,97	5,95	5,88	5,83	6,05	6,06	6,09	6,12	6,06	6,22
	s	0,29	0,23	0,23	0,13	0,32	0,31	0,22	0,23	0,21	0,19	0,20	0,16
Xylit	$\bar{x}$	6,60	6,32	6,38	6,24	6,18	6,24	6,22	6,20	6,32	6,25	6,28	6,40
	s	0,21	0,34	0,15	0,15	0,14	0,09	0,20	0,17	0,09	0,12	0,08	0,10
Mannit	$\bar{x}$	6,62	6,28	6,15	6,17	6,17	6,09	6,18	6,16	6,27	6,27	6,32	6,39
	s	0,18	0,17	0,26	0,15	0,22	0,18	0,25	0,26	0,21	0,18	0,13	0,10
Sorbit	$\bar{x}$	6,61	6,04	6,00	5,85	6,20	6,09	6,12	6,12	6,05	6,08	6,19	6,24
	s	0,19	0,20	0,24	0,30	0,18	0,23	0,26	0,2	0,22	0,20	0,28	0,14
Palatinit®	$\bar{x}$	6,70	6,13	6,03	5,92	5,98	6,04	6,20	5,97	6,15	6,20	6,31	6,28
	s	0,23	0,21	0,18	0,28	0,19	0,11	0,16	0,11	0,15	0,14	0,19	0,12
Lycasin®	$\bar{x}$	6,64	6,01	5,84	5,67	5,66	5,79	6,02	6,2	6,14	6,16	6,16	6,18
	s	0,13	0,21	0,23	0,05	0,13	0,22	0,32	0,11	0,21	0,21	0,19	0,15

Intraorale Messung

Probandin A.F.

Gute Plaquebildnerin
relativ viel Speichel

T [Min]	0	3	4	5	7	9	11	13	17	21	27	32
Fructose	6,46	5,32	5,41	4,36	4,67	4,68	4,85	4,94	5,24	5,36	5,93	6,17
Saccharose	6,49	5,46	5,18	4,47	4,40	4,16	4,88	4,98	6,04	6,20	6,09	6,04
Sorbose	6,36	6,18	5,94	5,91	5,42	5,30	5,64	5,62	5,67	5,97	6,01	6,02
Glucose	6,34	5,70	5,14	4,72	4,69	4,90	4,57	4,60	5,02	5,26	5,28	5,98
Sorbit	6,35	5,88	6,36	6,01	6,26	6,20	6,30	6,28	6,07	6,07	6,32	6,30
Xylit	6,33	6,01	6,30	6,24	6,26	6,25	6,29	6,14	6,25	6,19	6,25	6,28
Mannit	6,34	6,40	5,83	6,03	6,21	5,92	6,26	6,20	6,23	6,38	6,34	6,29
Palatinit ®	6,45	6,34	5,81	5,77	5,93	6,26	6,48	5,97	6,38	6,37	6,54	6,43
Lycasin ®	6,47	5,61	5,40	5,67	5,67	5,61	5,93	6,19	5,92	5,62	5,89	6,05

Meßpunkte: t = 0:IR 15, 16; t = 3:IR 13, 14; t = 4:IR 11, 12; t = 5:IR 21, 22;
t = 7:IR 23, 24; t = 9:IR 25, 26; t = 11:IR 36,35; t = IR 34, 33; t = 17:IR 32, 31;
t = 21:IR 41, 42; t = 27:IR 43, 44; t = 32:IR 45, 46;

Speichel-pH: buccale Mundschleimhaut im Oberkiefer: pH = 6,57
Umschlagfalte im Unterkiefer: pH = 6,72
carunculae sublinguales: pH = 6,79

Extraorale Messung

Probandin A.F.

	1. Quadrant		2. Quadrant		3. Quadrant		4. Quadrant	
T [Min]	0	3	5	7	9	11	15	25
Saccharose	6,48	5,92	4,76	4,81	5,08	5,11	4,99	5,28
Glucose	6,56	5,29	5,12	5,18	5,20	5,32	6,17	6,07
Fructose	6,54	5,96	5,76	5,52	5,65	5,83	5,86	6,14
Sorbose	6,31	6,02	5,97	5,75	5,45	5,48	5,34	5,98

Intraorale Messung

Proband J.H.

T [Min]	0	3	4	5	7	9	11	13	17	21	27	32
Saccharose	6,74	5,43	5,27	4,82	4,51	4,22	4,63	4,56	4,98	5,09	4,82	5,18
Glucose	6,70	4,90	4,65	4,39	4,93	4,87	4,79	4,76	5,12	5.05	5,17	5,15
Fructose	6,82	5,17	4,87	4,25	4,31	4,83	4,65	4,87	4,35	4,52	4,68	4,82
Sorbose	6,63	6,20	5,91	5,82	5,78	6,18	6,01	6,17	6,27	6,31	6,28	6,27
Xylit	6,62	6,02	6,17	6,18	6,12	6,35	5,98	5,97	6,36	6,41	6,19	6,35
Sorbit	6,72	5,93	5,97	6,27	6,31	6,28	6,31	6,05	5,96	5,99	6,38	6,08
Mannit	6,83	6,23	6,18	6,30	6,06	6,23	6,31	6,29	6,28	6,10	6,21	6,37
Palatinit R	6,78	5,89	5,81	5,87	6,24	6,02	6,17	6,18	5,93	6,03	6,25	6,18
Lycasin R	6,67	6,12	5,71	5,62	5,77	5,91	6,07	6,20	6,25	6,12	6,17	6,31

Speichel-pH:
- buccale Schleimhaut im Oberkiefer pH = 6,84
- Umschlagfalte Unterkiefer pH = 6,98
- Carunculae sublinguales pH = 6,71

Intraorale Messung

Probandin A.H.

T [Min]	0	3	4	5	7	9	11	13	17	21	27	32
Saccharose	6,53	5,13	4,31	4,18	4,88	4,88	5,61	4,19	4,60	4,73	5,18	5,58
Glucose	6,65	5,10	5,44	4,27	4,46	4,41	4,49	4,56	4,87	5,18	5,29	5,18
Fructose	6,51	5,03	4,87	4,83	4,21	4,30	4,77	4,63	4,53	4,72	4,88	4,97
Sorbose	6,47	5,71	5,83	5,90	5,79	5,83	6,08	5,98	6,17	6,19	6,23	6,09
Sorbit	6,42	6,07	6,09	5,72	5,86	5,72	5,64	5,78	5,95	5,82	5,92	6,12
Xylit	6,37	6,12	6,25	6,30	6,21	6,25	6,08	6,14	6,17	6,12	6,29	6,31
Mannit	6,49	5,97	5,86	6,02	5,82	5,83	5,66	5,65	5,86	6,07	6,27	6,38
Palatinit ®	6,68	6,39	6,04	6,19	5,89	6,08	6,16	6,02	6,17	6,35	6,21	6,48
Lycasin ®	6,48	6,13	6,04	5,64	5,62	5,71	6,05	6,21	5,90	6,11	6,41	6,37

Speichel-pH:
- buccale Schleimhaut im Oberkiefer: pH = 6,81
- vestibuläre Umschlagfalte im Unterkiefer: pH = 6,73
- Caruncula sublingualis: pH = 6,94

Intraorale Messung

Proband J.F.

T [Min]	0	3	4	5	7	9	11	13	17	21	27	32
Saccharose	6,75	5,48	5,10	4,64	4,67	4,39	4,32	4,56	5,13	5,03	4,98	5,08
Glucose	6,62	5,52	4,93	4,92	4,37	4,37	4,60	4,20	4,51	4,53	4,59	5,21
Fructose	6,65	5,00	4,63	4,47	5,03	4,94	4,93	5,25	4,75	4,96	5,16	5,12
Sorbose	6,76	5,97	5,83	6,22	6,40	5,81	6,21	6,23	6,19	6,08	6,08	6,26
Sorbit	6,78	6,12	5,62	5,37	6,20	6,26	6,12	6,38	5,77	6,17	5,76	6,22
Xylit	6,72	6,39	6,46	6,27	6,20	6,29	6,16	6,26	6,34	6,19	6,23	6,53
Mannit	6,57	6,34	6,34	6,18	6,48	6,25	6,32	6,35	6,30	6,39	6,56	6,48
Palatinit ®	6,86	5,92	6,16	5,60	5,70	5,63	6,05	5,94	6,03	6,12	6,53	6,29
Lycasin ®	6,78	6,08	5,95	5,67	5,76	6,03	6,52	6,36	6,06	6,42	6,15	6,26

Speichel pH: - buccale Mundschleimhaut im Oberkiefer: pH = 6,43
- Umschlagfalte im Unterkiefer: pH = 7,03
- Carunculae sublinguales: pH = 6,65

Extraorale Messung

Proband J.F.

Guter Plaquebildner
normaler Speichelfluß

T [Min]	0	3	5	7	9	11	15	25
Saccharose	6,54	5,17	5,17	5,35	5,36	5,58	5,64	5,89
Glucose	6,65	5,25	5,13	5,43	5,12	5,18	5,23	5,40
Fructose	6,76	5,91	5,27	5,24	5,50	5,24	5,27	5,70
Sorbose	6,62	5,98	5,82	5,93	6,12	6,22	6,18	6,39

Intraorale Messung

Proband C.B.

Guter Plaquebildner
normaler Speichelfluß

T [Min]	0	3	4	5	7	9	11	13	17	21	27	32
Saccharose	6,66	5,06	4,72	4,18	4,76	4,47	4,46	4,20	4,83	4,84	5,17	5,68
Glucose	6,57	4,56	4,61	4,28	4,58	4,92	4,54	4,59	4,76	4,72	4,83	4,92
Fructose	6,53	4,52	4,36	4,19	4,49	4,61	4,75	4,71	4,78	4,89	4,82	5,31
Sorbose	6,56	6,42	6,23	5,97	5,85	5,78	6,10	6,31	6,05	5,85	5,86	6,20
Sorbit	6,61	6,41	6,09	5,96	6,42	6,24	6,08	6,15	6,10	6,02	6,34	6,29
Xylit	6,75	6,56	6,54	6,01	5,93	6,20	6,25	6,13	6,43	6,21	6,42	6,39
Mannit	6,77	6,15	6,20	6,10	6,28	6,25	6,29	6,48	6,37	6,17	6,21	6,29
Palatinit ®	6,64	6,30	6,25	6,35	6,18	5,98	6,19	5,83	6,23	6,28	6,03	6,16
Lycasin ®	6,74	5,94	5,75	5,67	5,42	5,49	5,58	6,26	6,39	6,39	6,04	6,05

Speichel-pH: - buccale Schleimhaut im Oberkiefer: pH = 6,95
- Umschlagfalte Unterkiefer: pH = 6,70
- Carunculae sublinguales: pH = 6,97

Extraorale Messung

Proband C.B.

T [Min]	0	3	5	7	9	11	15	25
Saccharose	6,56	4,86	5,26	5,36	5,15	5,27	5,42	5,26
Glucose	6,52	5,37	5,38	5,37	5,27	5,42	5,89	6,04
Fructose	6,57	5,73	5,82	5,74	5,90	6,03	6,29	6,27
Sorbose	6,63	6,02	5,98	6,12	6,21	6,28	6,19	6,41

Intraorale Messung

Probandin B.B.

Schlechte Plaquebildnerin
normaler Speichelfluß

T [Min]	0	3	4	5	7	9	11	13	17	21	27	32
Saccharose	6,72	5,87	5,69	5,13	5,73	5,54	5,78	5,24	5,31	5,32	5,55	5,73
Glucose	6,88	5,92	5,52	5,45	5,64	5,73	5,80	5,76	5,77	5,86	6,05	6,09
Fructose	6,73	6,42	6,05	5,68	5,47	5,30	5,36	5,73	5,69	5,70	5,94	5,96
Sorbose	6,84	6,36	6,13	5,91	6,04	6,13	6,26	6,05	6,20	6,33	6,35	6,48
Sorbit	6,82	5,86	5,88	5,78	6,20	5,87	6,32	6,11	6,45	6,42	6,44	6,47
Xylit	6,85	6,87	6,52	6,47	6,38	6,15	6,57	6,56	6,40	6,42	6,31	6,52
Mannit	6,73	6,61	6,51	6,42	6,17	6,07	6,31	6,02	6,49	6,52	6,35	6,56
Palatinit®	6,81	5,98	6,13	5,74	5,94	6,32	6,38	5,91	6,19	6,07	6,32	6,19
Lycasin®	6,75	6,18	6,03	5,79	5,77	6,00	6,31	6,02	5,92	6,32	6,34	6,04

Speichel-pH: -buccale Schleimhaut im Oberkiefer: pH = 6,95
-Umschlagfalte im Unterkiefer: pH = 6,70
-Carunculae sublinguales: pH = 7,10

Extraorale Messung

Probandin B.B.

T [Min]	0	3	5	7	9	11	15	25
Saccharose	6,77	5,81	5,11	5,32	5,36	5,72	5,35	6,11
Glucose	6,81	5,89	5,77	5,84	5,46	6,28	6,56	6,72
Fructose	6,71	5,92	5,78	5,84	5,98	6,09	6,24	6,39
Sorbose	6,63	6,28	5,83	6,08	6,15	6,28	6,29	6,42

Extraorale Messung

Mittelwertskurven ($\bar{x}$) und
Standardabweichung (s) vom Mittelwert

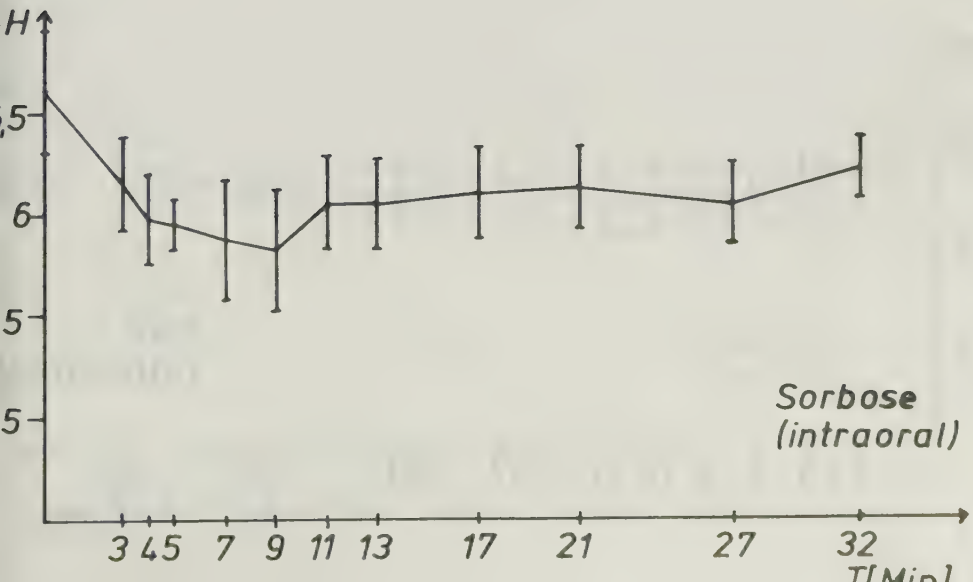
T Min	0	3	5	7	9	11	15	25
Saccharose	6,58	5,44	5,07	5,20	5,29	5,42	5,35	5,63
	0,12	0,5	0,21	0,26	0,15	0,27	0,26	0,40
Glucose	6,63	5,45	5,35	5,45	5,26	5,55	5,96	6,05
	0,12	0,29	0,30	0,26	0,30	0,29	0,49	0,51
Fructose	6,64	5,88	5,65	5,58	5,75	5,79	5,91	6,12
	0,10	0,10	0,21	0,26	0,22	0,38	0,35	0,30
Sorbose	6,54	6,07	5,90	5,97	5,98	6,06	6,0	6,30
	0,15	0,13	0,08	0,16	0,35	0,39	0,44	0,21

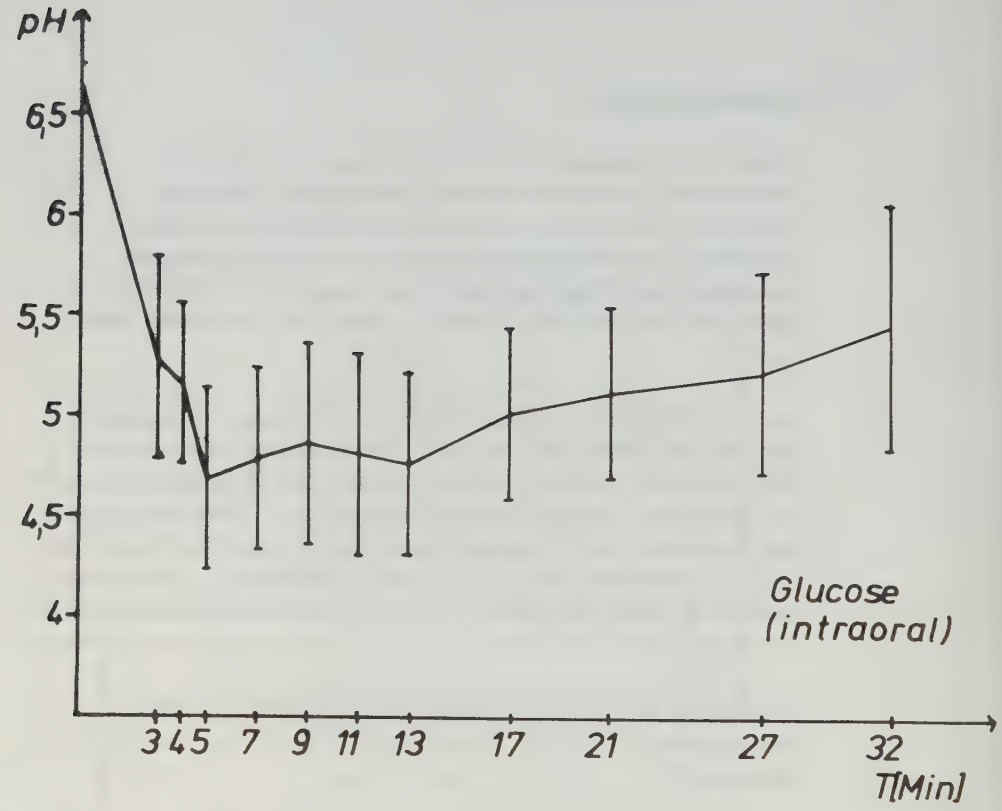
VII. Zusammenfassung:

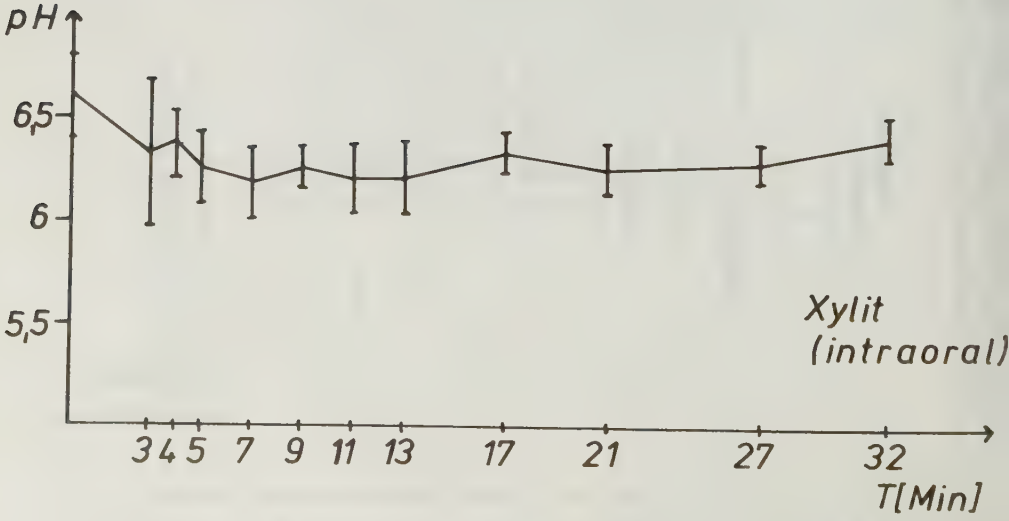
In der vorliegenden Arbeit wurde eine Methode zur intraoralen pH-Wertbestimmung vorgestellt. Als Meßelektrode diente eine modifizierte Oberflächenglaselektrode der Firma Ingold KG und als Bezugselektrode eine Mikroglaselektrode der Firma Ingold KG. Als pH-Meter wurde das Digitalgerät pH Digi 550 der Fa. WTW GmbH verwendet.

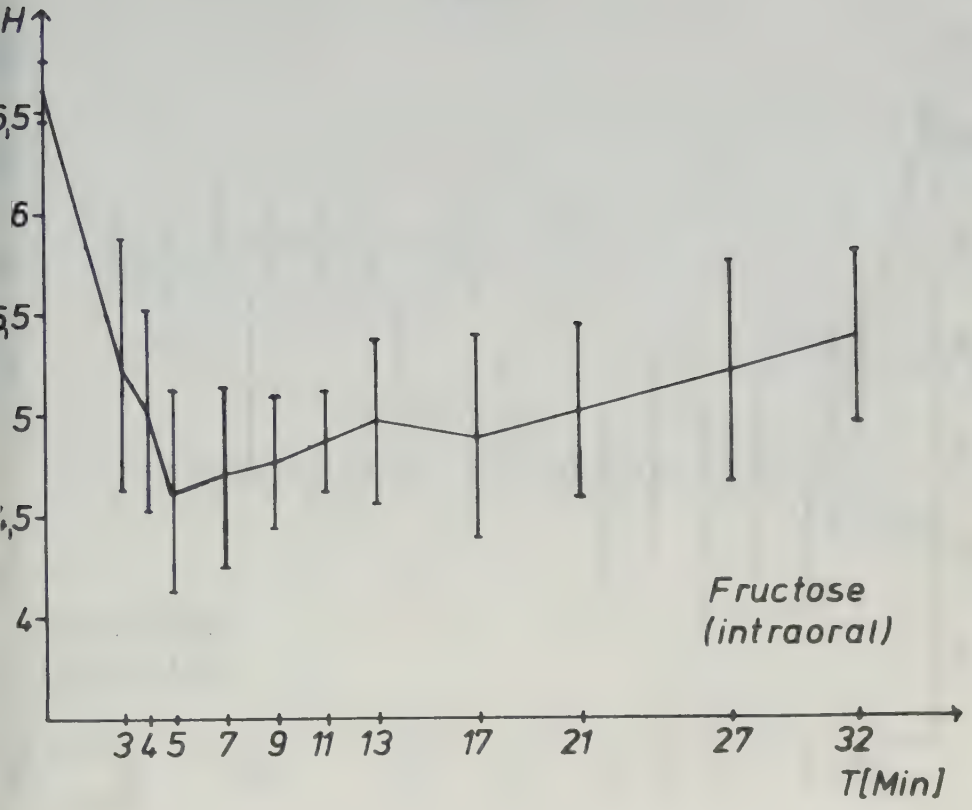
In den einzelnen Versuchen wurden vier Zucker (Saccharose, Glucose, Fructose und Sorbose) und fünf Zuckeraustauschstoffe (Xylit, Sorbit, Mannit, Palatinit ® und Lycasin ®) als 20 %-ige Wasserlösungen verwendet. Die Probanden hatten zum Zeitpunkt der Messungen eine 24 Stunden alte Plaque und spülten zwei Minuten mit den Substanzlösungen. Die pH-Werte sind über eine Zeitspanne von 32 Minuten an definierten Meßpunkten beobachtet und in Stephankurven registriert worden.

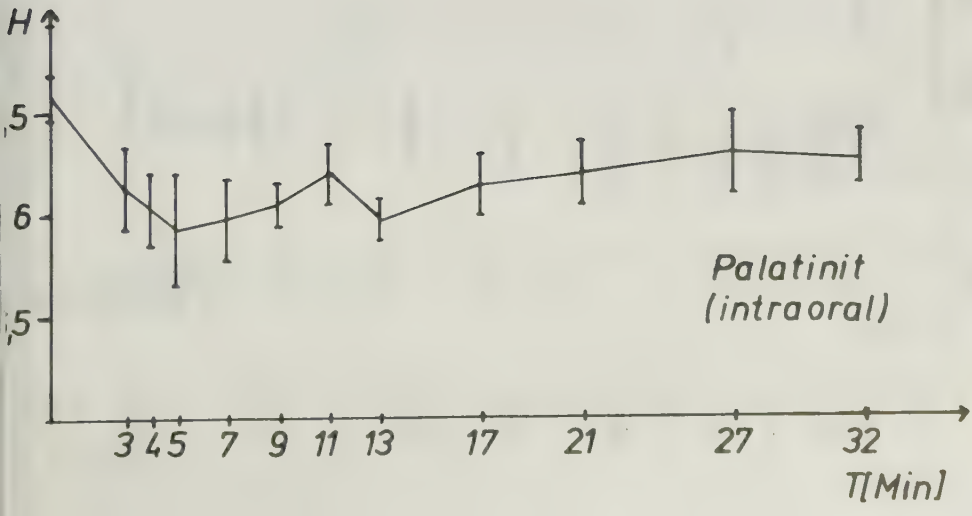
Im folgenden sind nun die Mittelwertskurven und die Standardabweichung vom Mittelwert für alle Substanzen dargestellt:

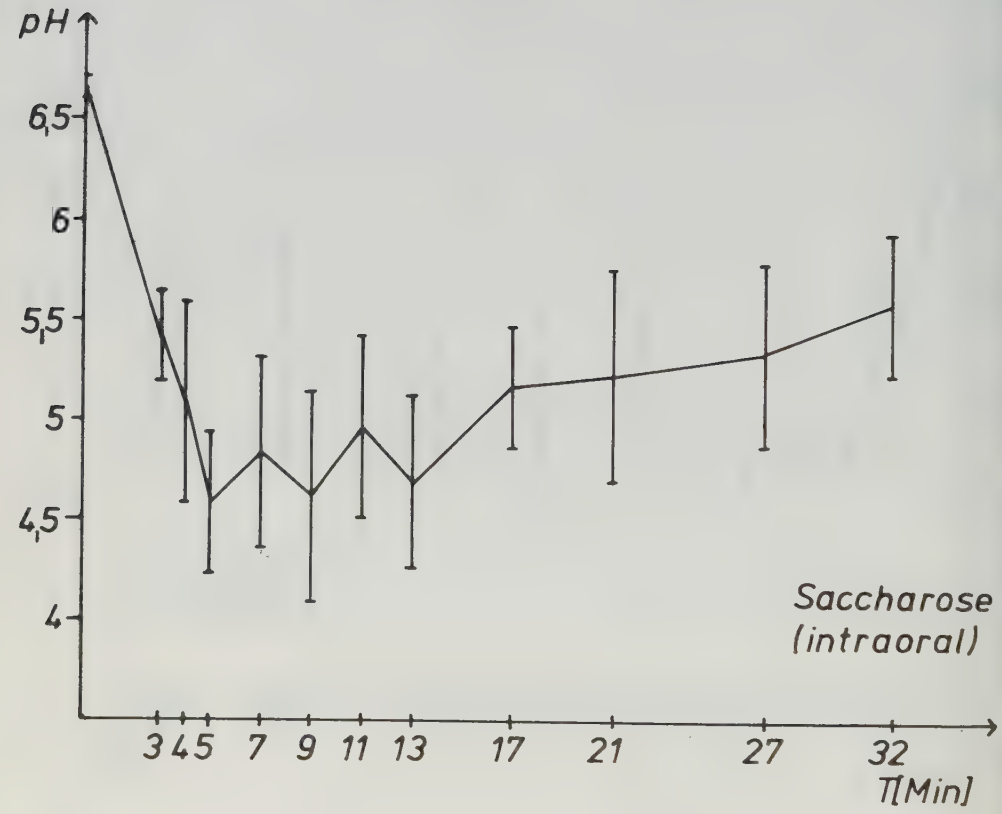


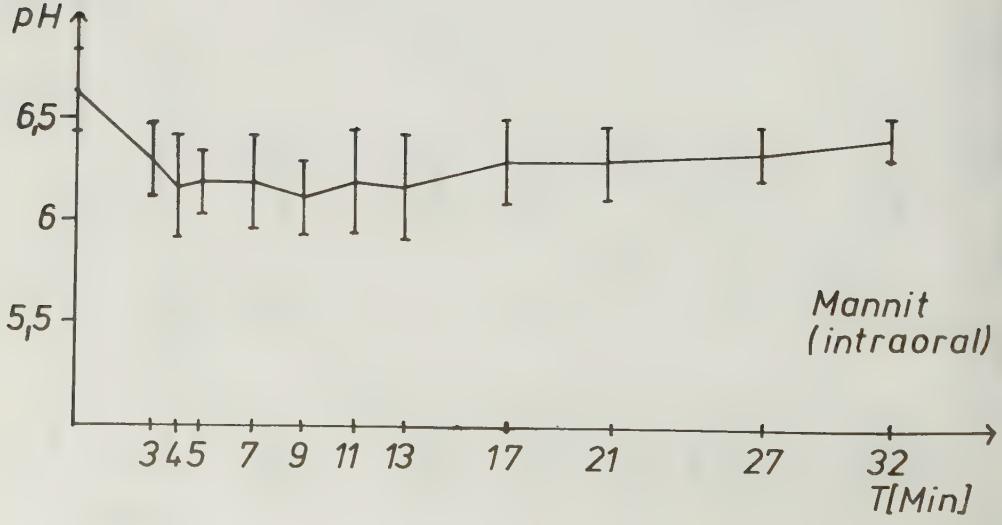

pH
6,5
6
5,5
5
4,5
4
Glucose
(intraoral)
3 4 5 7 9 11 13 17 21 27 32
T[Min]

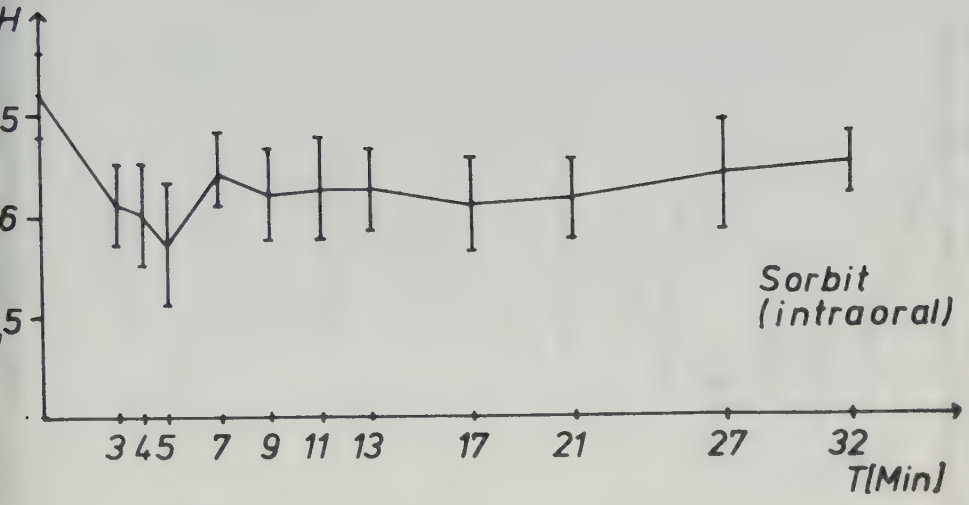

pH
6,5
6
5,5
Xylit
(intraoral)
3 4 5 7 9 11 13 17 21 27 32
T[Min]

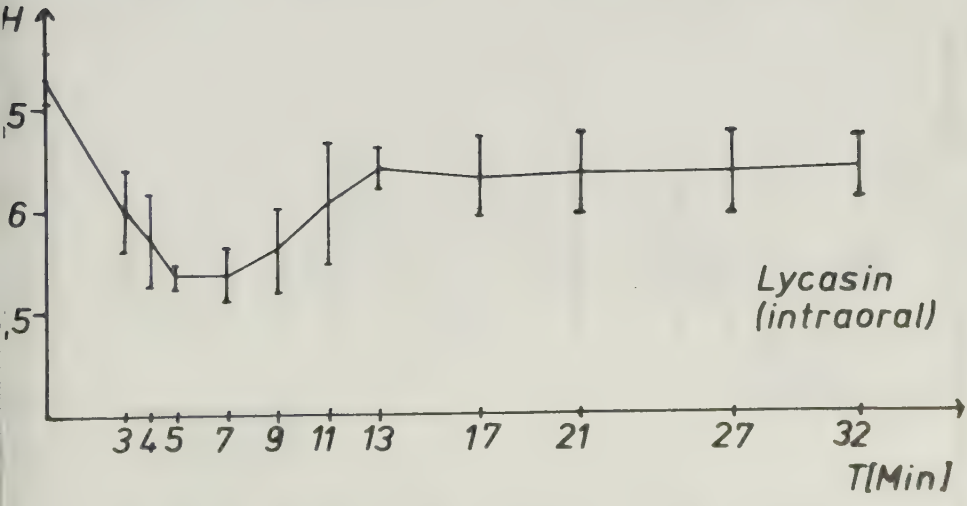

H
6,5
6
5,5
5
4,5
4
Fructose
(intraoral)
3 4 5 7 9 11 13 17 21 27 32
T[Min]

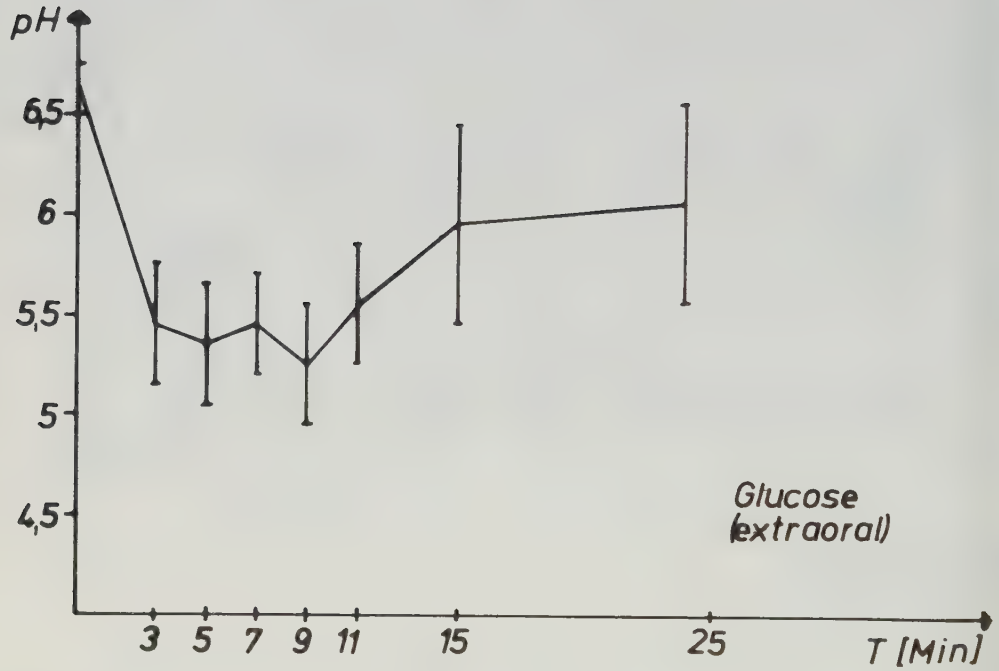

H
5
6
5
Palatinit
(intraoral)
3 4 5 7 9 11 13 17 21 27 32
T[Min]

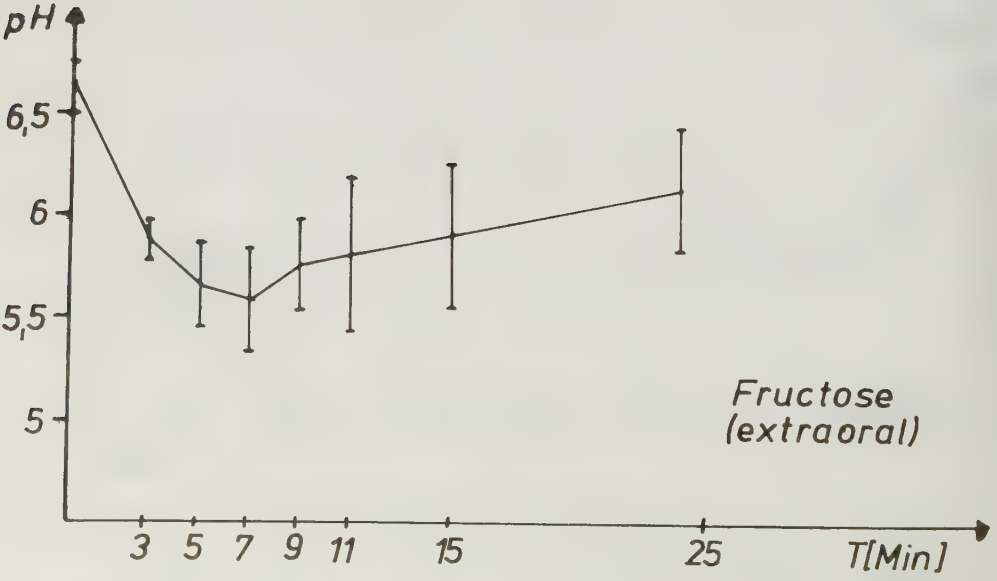

pH
6,5
6
5,5
5
4,5
4
Saccharose
(intraoral)
3 4 5 7 9 11 13 17 21 27 32
T[Min]

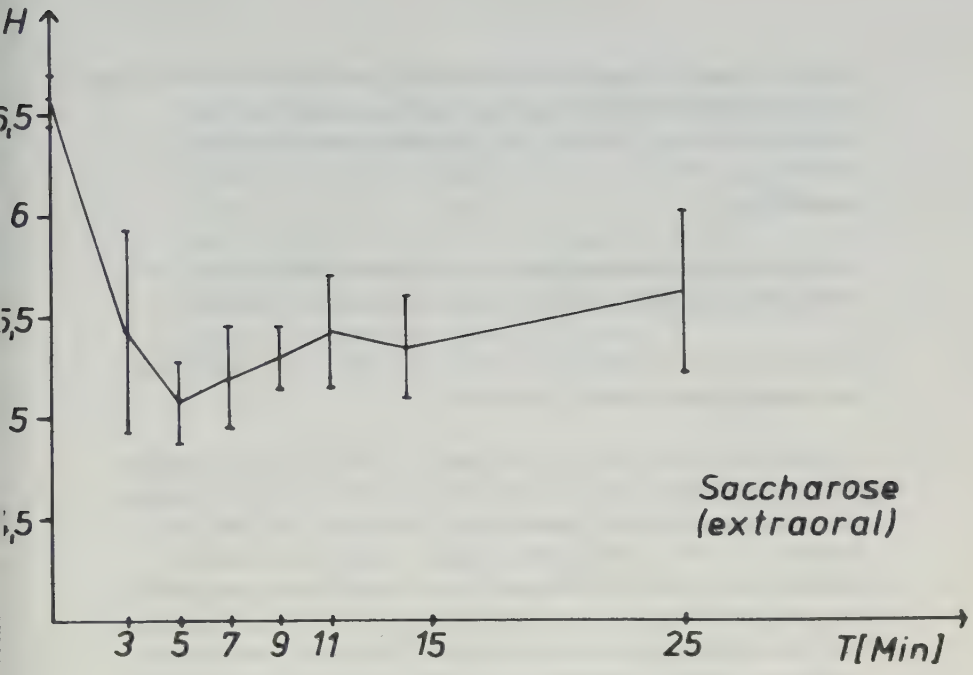

pH
6,5
6
5,5
Mannit
(intraoral)
3 4 5 7 9 11 13 17 21 27 32
T[Min]

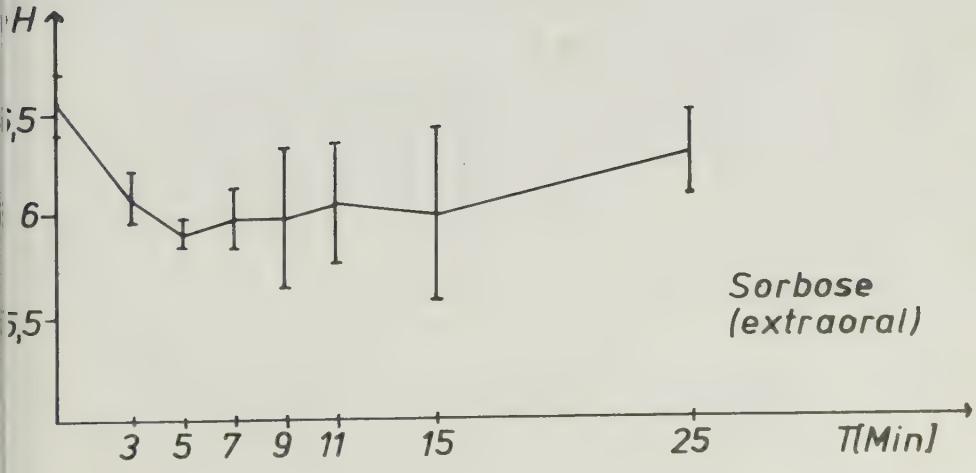

H
5
6
,5
Sorbit
(intraoral)
3 4 5 7 9 11 13 17 21 27 32
T[Min]


H
,5
6
,5
Lycasin
(intraoral)
3 4 5 7 9 11 13 17 21 27 32
T[Min]


pH
6,5
6
5,5
5
4,5
Glucose
(extraoral)
3
5
7
9
11
15
25
T [Min]


pH
6,5
6
5,5
5
Fructose
(extraoral)
3
5
7
9
11
15
25
T[Min]


H
6,5
6
5,5
5
Saccharose
(extraoral)
3 5 7 9 11 15 25
T[Min]


H
6,5
6
5,5
Sorbose
(extraoral)
3 5 7 9 11 15 25
T[Min]

Mit Hilfe der intraoralen Meßmethode ließ sich eine genügend hohe Reproduzierbarkeit erzielen. Die physiologischen Gegebenheiten der Plaque, das Diffusionsverhalten der Substanzen und ihre Fermentierbarkeit waren weitgehend ungestört.

Die präparative Handhabung der Elektroden war leicht und wurde von den Probanden nicht als unangenehm empfunden.

Die erreichten pH-Minima zeigten gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren.

In einem weiteren Teil der Arbeit wurden an vier Probanden unter standadisierten Versuchsbedingungen alle vier Zucker mit einer extraoralen Meßmethode untersucht und mit den Ergebnissen der intraoralen Methode verglichen. Dabei zeigte sich, daß die intraoral bestimmten pH-Minima deutlich unter denen der extraoral gemessenen lagen. Weiterhin war im allgemeinen der Anstieg des intraoral ermittelten pH-Wertes, der hauptsächlich durch die puffernde Wirkung des Speichels verursacht wird, langsamer.

Herrn Prof. Dr. med. dent. R. Naujoks danke ich für die Durchsicht der Arbeit und für die Übernahme des Korreferates.

Herrn Prof. Dr. F. Gehring darf ich an dieser Stelle sehr herzlich für die Überlassung des Themas, seine stets selbstlose und freundliche Hilfe und die wohlwollenden Ratschläge bei der Durchführung der Arbeit meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

VIII. Literaturverzeichnis

1 Bässler, K.H., Biochemie und Stoffwechsel von Zuckeraustauschstoffen, Dtsch. Zahnärztl. Z. 32, Suppl. 1, 25 (1977)

2 Gehring, F., Saccharose und Zuckeraustauschstoffe im mikrobiologischen Test, Dtsch. Zahnärztl. Z. 26, 1162 (1971)

3 Gehring, F., Mikrobiologische Aspekte zur Kariogenität von Zuckern und Zuckeraustauschstoffen, Dtsch. Zahnärztl. Z. 29, 769 (1974)

4 Gehring, F., Mikrobiologische Untersuchungen im Rahmen der "Turku sugar studies", Dtsch. Zahnärztl. Z. 32, Suppl. 1, 84 (1977)

5 Stephan, R.M., Changes in hydrogen-ion concentration on tooth surfaces and in carions lesions, J. Amer. dent. Ass., 27, 718 (1940)

6 Kleinberg, J., The construction and evaluation of modified types of antimony micro-electrodes for intraoral use, Brit. dent. J., 104, 197 (1958)

7 Neff, D., Acid production from different carbohydrate sources in human plaque in situ, Caries Res. 1, 78 (1967)

8 Brudevald, F., Thompson, F.C., Evaluation of micro-antimony elektrode, J. dent. Res. 33, 854 (1958)

9 Schmidt, H., Med. Diss (1965)

10 Graf, H. und Mühlemann, H.R., Telemetry of plaque pH from interdental area, Helv. odont Acta 10, 94 (1966)

11 Mühlemann, H.R., Zuckerfreie, zahnschonende und nichtkariogene Bonbons und Süßigkeiten, Schweiz. MSchr. Zahnheilkunde 79, 117 (1969)

12 Graf, H., Telemetrie des pH der Interdentalplaque, Schweiz. MSchr. Zahnheilk. 79, 146 (1969)

13 Englander, H.R., Formation of lactic acid in dental plaques, J. dent. Res. 35, 792 (1956)

14 Fosdik, L.S., et al., Rate of acid formation in carious areas, Illinois dent. J., 10, 85 (1941)

15 Frostell, G., A method for evaluation of acid potentialities of foods, Acta odont. scand. 28, 599 (1970)

16 Edgar, W.M., The role of saliva in the control of pH-changes in human dental plaque, Caries Res. 10, 241 (1976)

17 Rugg-Gunn, A.J., et al., The effect of different meal patterns upon plaque pH in human subjects, Brit. dent. J., 139, 351 (1975)

18 Geddes, D.A.M., et al., Apples, salted peanuts and plaque pH, Brit. dent. J., 142, 317 (1977)

19 Frostell, G., Quantitative determination of the acid production from different carbohydrates in suspensions of dental plaque material, Acta odont. scand. 22, 457 (1964)

20 Edgar, W.M., Rate of acid formation in Carious areas, Caries Res. 10, 241 (1976)

21 Frostell, G., Dental plaque pH in relation to intake of carbohydrate products, Acta odont. scand. 27, 3 (1969)

22 Frostell, G., Effect of milk, fruit juices and sweetened beverages on the pH of dental plaque, Acta odont. scand. 28, 609 (1970)

23 Frostell, G., Effect of mouthrinses with sucrose, glucose, fructose, lactose, sorbitol and Lycasin R on the pH of dental plaque, Odont. Revy, 24, 217 (1973)

24 Imfeld, Th., Evaluation of the cariogenicity of confectionery by intra-oral wire-telemetry, Helv. odont. Acta 21, 1 (1977)

25 Frostell, G., Substitution of fermentable sugars in sweets Blix G (Ed.), Nutrition on caries prevention p. 60 - 66 Almquiest und Wiksells, Upsalla (1965)

26 Hassell, Th. M., pH-Telemetrie der interdentalen Plaque nach Genuß von Zucker und Zuckeraustauschstoffen, Dtsch. Zahnärztl. Z. 26, Heft 11 (1971)

27 Edwardson, S., Birkhed, D., Mejare, B., Acid production from Lycasin R, maltitol, sorbitol and xylitol by oral streptococci and lactobacilli. Acta odont scand. 35, 257 (1977)

28 Frostell, G., The carious-inducing properties of Lycasin R in comparison to sucrose, Dtsch. Zahnärztl. Z., 26, 1181 (1971)

29 Gülzow, H.J., Über den Abbau von Sorbit durch Plaque-Mikroorganismen, Dtsch. Zahnärztl. Z., 23, 326 (1968)

30 Gehring, F. et al., Turku sugar studies, Acta odont, scand. Suppl. 70, 223 (1975)

31 Gülzow, H.J., Stegmeier, K., Wird der Zuckeraustauschstoff Xylit von Mikroorganismen der menschlichen Mundhöhle umgesetzt? Dtsch. Zahnärztl. Z., 33, 185 (1978)

32 De Boever, I. et al., The effect of concentrated sucrose solutions on pH of interproximal plaque, Helv. odont. Acta 13, 27 (1969)

33 Kleinberg, I. Studies on dental plaque. The effect of concentrations of glucose on the pH of dental plaque in vivo, J. dent. Res. 40, 1087 (1968)

34 Schneider, Ph., Mühlemann, H.R., Zuckerfreie zahnschonende Kaugummis und Bonbons, Schweiz. MSchr. f. Zahnheilk., 86, 150 (1976)

35 Dallmeier et al., Über den Abbau von Glucose und Sorbit durch Plaques Streptokokken, Dtsch. Zahnärztl. Z. 25, 887 (1970)

L e b e n s l a u f

Ich wurde am 31.10.1948 als Sohn des Verwaltungsangestellten Johannes Hufnagel und seiner Ehefrau Dorothea in Würzburg geboren.
Nach dem Besuch der Volksschule von 1955 - 1959 Übertritt ins Gymnasium Kitzingen und Ablegung der Reifeprüfung 1969.
Anschließend Ableistung des Grundwehrdienstes bei der Luftwaffe in Roth und Lauda/Baden.
In der Zeit von Oktober 1970 bis September 1971 Ausbildung als Reg.Insp.Anw. bei der Regierung von Unterfranken.
Am 01. Mai 1971 heiratete ich meine Frau Anni, geb. Karmann.

Seit dem Wintersemester 1971/72 studierte ich an der Universität Würzburg Chemie und Biologie für das Lehramt an Gymnasien und schloß im Sommersemester 1976 mit dem Staatsexamen ab.
Am 12.09.1976 wurde unsere Tochter Katja geboren.
Mit dem Beginn des Wintersemesters 1976/77 studiere ich Zahnmedizin an der Universität Würzburg. Das Staatsexamen habe ich am 19. Januar 1981 bestanden.
Am 08. Februar 1981 wurde unsere zweite Tochter Kristina geboren.

Kitzingen, 23. Februar 1981

Hans-Dieter Hufnagel